

**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO**



# **Jogo interativo para reabilitação de pacientes com cancro da mama**

**Edgar Manuel Moreira Alves Velasco Costa**

**PARA APRECIÇÃO POR JÚRI**

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Helder Filipe Pinto de Oliveira

Co-orientador: Luís Filipe Pinto de Almeida Teixeira

27 de Julho de 2015





A Dissertação intitulada

“Jogo Interativo para Reabilitação de Pacientes com Cancro da Mama”

foi aprovada em provas realizadas em 20-07-2015

o júri



Presidente Professor Doutor Luís António Pereira de Meneses Corte-Real  
Professor Associado do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de  
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Professor Doutor André Ribeiro da Silva Marçal  
Professor Auxiliar do Departamento de Matemática da Faculdade de Ciências da  
Universidade do Porto



Professor Doutor Hélder Pinto de Oliveira  
Professor Auxiliar Convidado do Departamento de Engenharia Informática da  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extratos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são corretamente citados.



Autor - Edgar Manuel Moreira Alves Velasco Costa

# Resumo

O cancro da mama é dos mais comuns entre as mulheres e o segundo mais fatal entre estas. Atualmente, são detetados em Portugal cerca de 4500 novos casos de cancro da mama por ano, sendo que 1/3 é fatal.

Um dos aspetos mais valorizados no tratamento dos pacientes portadores deste tipo de tumor é a sua qualidade de vida pós operatório. Contudo, técnicas de tratamento comuns, como o caso da radioterapia ou da remoção cirúrgica dos nódulos linfáticos da axila, podem causar danos no funcionamento dos membros superiores dos pacientes, como uma limitada mobilidade do braço e o seu inchaço, o que normalmente precede o aparecimento do linfedema crónico. Desta forma, após o tratamento do cancro de mama, é fundamental a paciente manter uma atividade física contínua de modo a evitar o aparecimento do linfedema. Esta atividade física é recomendada através de um conjunto de exercícios efetuados sob supervisão médica, o que implica a disponibilização de técnicos especializados, desviando-os de outras tarefas. Esta situação traduz-se num gasto de tempo por parte dos funcionários e, em muitas situações, os pacientes acabam por se desmotivar e abandonarem a fisioterapia.

O aparecimento das novas tecnologias tem levado a grandes alterações na forma como as pessoas organizam a sua vida pessoal, assim como social. A tecnologia tem sido utilizada como uma ferramenta importante na saúde e tem dado um grande contributo para a qualidade e o aumento da esperança de vida das pessoas. Hoje em dia, os jogos são pluridimensionais, o que permite que sejam utilizados em diferentes contextos e com múltiplas finalidades. São uma ferramenta dinâmica e interativa, o que permite superar a desmotivação dos pacientes, assim como libertar recursos humanos especializados para outras atividades. Pelo que neste trabalho irá ser investigado um modelo de reabilitação para pacientes que tiveram cancro de mama através da utilização do Kinect, e desenvolver uma aplicação neste sentido, que instruí o paciente na execução de exercícios úteis para a reabilitação do membro operado e, ao mesmo tempo, realiza uma avaliação da execução dos movimentos.



# Abstract

Breast cancer is one of the most common cancer among women and the second most fatal among them. Currently it has been detected in Portugal over 4500 new cases of breast cancer each year, being 1/3 of them, fatal.

One of the most valued aspects in the treatment of patients with this kind of tumor it's the quality of life after going on surgery. However, common treatment techniques, like radiotherapy or surgical removal of the armpit's lymph nodes, they can bring some damage to the upper limbs, such as limited arm mobility and swelling, which usually precedes the chronic lymphedema. This way, after the breast cancer treatment, it's essential to maintain continuous physical activity in order to avoid lymphedema. This physical activity is recommended through a group of exercises done under medical supervision, which would imply the help of specialized professionals, diverting them from other tasks. This ends up in a waste of this professionals' time and, in many situations, many patients end up losing their motivation and don't attend physiotherapy sessions.

The new technologies have been bringing great changes in the way that people organize their personal life, as their social one as well. Technology is, sometimes, used as an important tool in health and a great contribution to improve the quality of life and average life expectancy of people. Nowadays games have numerous dimensions, which allow them to be used in different contexts and with multiple functionalities. They're a dynamic and interactive tool that allows solving the lack of motivation issue and free specialized human resources for other activities. This way, in this paper it will be investigated a new rehabilitation model for patients who have had breast cancer through the use of Kinect, and develop a new application for this, that allows the patient in executing useful exercises in order to recover the surgical operated limb and, at the same time, evaluates their movement's execution.



# Agradecimentos

Este trabalho não seria possível sem a contribuição, ajuda e apoio de várias pessoas a quem devo os meus agradecimentos:

Inicialmente gostaria de agradecer ao Prof. Hélder Oliveira pela disponibilidade e paciência. Ademais tenho de agradecer ao Prof. Luís Teixeira pelos conselhos dados, sempre que necessários. Além disso, estou muito grato ao Dr. André Magalhães e ao Enfermeiro Sérgio Magalhães do Hospital São João, pelo apoio médico na aquisição dos dados.

É necessário também enaltecer e agradecer a todas as pacientes que perderam tempo para experimentar o software criado. Sem elas não teria sido possível concluir este trabalho.

Gostaria também de agradecer à Joana Alves por fazer o favor de traduzir para inglês sempre que necessário, ao António Guerra por me substituir na aquisição de dados sempre que não pude comparecer e a Ana Rita Moreira, cuja tese foi inspiradora e a base para a realização deste trabalho.

Finalmente, gostaria de dar o meu imenso obrigado à Cátia Soares, cujo trabalho na realização de todas as imagens utilizadas no jogo é de enaltecer.

Edgar Costa



*Sê um homem sem esquecer o miúdo*

David Fonseca





# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Introdução . . . . .	1
1.2	Motivação . . . . .	1
1.3	Objetivos . . . . .	3
1.4	Contribuições . . . . .	3
1.5	Estrutura do Documento . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Cancro da Mama</b>	<b>5</b>
2.1	Anatomia da Mama . . . . .	5
2.2	Sistema Linfático Mamário . . . . .	6
2.3	Carcinoma da Mama . . . . .	6
2.4	Tratamento do Cancro da Mama . . . . .	8
2.5	Dissecação do nó linfático . . . . .	8
2.6	Linfedema . . . . .	9
2.7	Tratamento do Linfedema . . . . .	11
2.8	Conclusão . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Estado da Arte</b>	<b>13</b>
3.1	Deteção Precoce de Linfedema . . . . .	13
3.1.1	Métodos de Avaliação . . . . .	13
3.1.2	Métodos Utilizados para a Deteção de Linfedema . . . . .	14
3.1.3	Deteção de Linfedema com 3D . . . . .	16
3.2	Deteção de Movimento . . . . .	17
3.2.1	Não Visuais . . . . .	18
3.2.2	Visuais . . . . .	19
3.3	Câmeras RGB-D . . . . .	22
3.3.1	Kinect . . . . .	23
3.4	Avaliação do Movimento do Membro . . . . .	26
3.4.1	Métodos Subjetivos na Avaliação do Movimento dos Membros Superiores	26
3.4.2	Métodos Objetivos na Avaliação do Movimento dos Membros Superiores	27
3.5	Jogos Sérios . . . . .	28
3.6	Conclusão . . . . .	32
<b>4</b>	<b>Metodologia</b>	<b>35</b>
4.1	Jogo 1 . . . . .	36
4.1.1	Componentes do Jogo . . . . .	36
4.1.2	Os Menus do Jogo . . . . .	39
4.1.3	Funcionamento . . . . .	42

4.1.4	Pontuação . . . . .	47
4.2	Jogo 2 . . . . .	48
4.2.1	Componentes do Jogo . . . . .	49
4.2.2	Os Menus do Jogo . . . . .	52
4.2.3	Funcionamento . . . . .	54
4.3	Conclusão . . . . .	61
<b>5</b>	<b>Extração de Caraterísticas</b>	<b>63</b>
5.1	Jogo 1 . . . . .	63
5.2	Jogo 2 . . . . .	68
5.3	Conclusão . . . . .	77
<b>6</b>	<b>Resultados</b>	<b>79</b>
6.1	Questionário de Satisfação . . . . .	79
6.2	Modelos de Classificação . . . . .	81
6.2.1	Fisher Linear Discriminant Analysis . . . . .	82
6.2.2	Naive Bayes Classifier . . . . .	83
6.2.3	Support Vector Machines (SVM) . . . . .	85
6.3	Base de Dados . . . . .	86
6.4	Modelos de Detecção Precoce de Linfedema, Dor, Rigidez e Fraqueza . . . . .	88
6.4.1	Jogo 1 . . . . .	88
6.4.2	Jogo 2 . . . . .	92
6.5	Conclusão . . . . .	96
<b>7</b>	<b>Conclusão</b>	<b>97</b>
7.1	Trabalho Futuro . . . . .	98
<b>A</b>	<b>Inquérito de Satisfação dos Utilizadores</b>	<b>101</b>
<b>B</b>	<b>Inquérito Dash</b>	<b>103</b>
<b>C</b>	<b>Protocolo de Aquisição</b>	<b>105</b>
C.1	Kinect . . . . .	105
C.1.1	Requerimentos do Hardware . . . . .	105
C.1.2	Limites . . . . .	105
C.1.3	Juntas do Esqueleto . . . . .	106
C.1.4	Posição . . . . .	106
C.1.5	Parâmetros de Aquisição . . . . .	106
C.1.6	Ambiente do Espaço de Aquisição . . . . .	107
C.2	Paciente . . . . .	107
C.3	Dados . . . . .	107
C.3.1	Organização dos Ficheiros . . . . .	107
<b>D</b>	<b>Resultados Jogo</b>	<b>109</b>
<b>E</b>	<b>Respostas ao Questionário de Satisfação</b>	<b>111</b>
	<b>Referências</b>	<b>113</b>

# Lista de Figuras

2.1	Anatomia do Peito . . . . .	5
2.2	Sistema Linfático Mamário . . . . .	6
2.3	Tendências da incidência de cânceros no sexo feminino nos Estados Unidos entre 1975-2009 . . . . .	7
2.4	Dissecação dos nós linfáticos da Axila . . . . .	9
2.5	Fases do Linfedema . . . . .	10
2.6	Compressão Pneumática . . . . .	12
3.1	Roda de Medição e Compasso de calibre automático . . . . .	15
3.2	Perometer . . . . .	15
3.3	Tomografia Computorizada . . . . .	16
3.4	CAML . . . . .	17
3.5	Classificação dos sistemas de detecção do movimento . . . . .	18
3.6	Sistemas de Rastreamento: Sistemas ativo e passivo . . . . .	20
3.7	Sistemas de seguimento humano 2D: Modelo 2-D do corpo humano . . . . .	20
3.8	Sistemas de seguimento humano 2D : <i>template wavelet</i> . . . . .	21
3.9	Sistemas de seguimento 3D: Reconstrução do objeto . . . . .	22
3.10	Kinect: Sensor de profundidade . . . . .	23
3.11	Kinect: Componentes do Hardware . . . . .	23
3.12	Kinect: Padrão Infravermelho . . . . .	24
3.13	Kinect: Representação do esqueleto . . . . .	25
3.14	Kinect: Etapas de rastreamento . . . . .	25
3.15	Comparação do Kinect com sistema de câmaras 3D . . . . .	26
3.16	Movimento de Flexão, Abdução e Adução . . . . .	27
3.17	Dinamómetro . . . . .	28
3.18	Jogo sério para reabilitação de pacientes crónicos . . . . .	31
4.1	Jogo 1: Movimento de Abdução/Adução . . . . .	37
4.2	Jogo 1: Esquema de cores do candeeiro . . . . .	37
4.3	Jogo 1: a) Ferro b) Início de fogo . . . . .	38
4.4	Jogo 1: a) Mão aberta b) Mão Fechada . . . . .	38
4.5	Jogo 1: Pontuação e Tempo . . . . .	38
4.6	Jogo 1: Avatar . . . . .	39
4.7	Jogo 1: Casos de Uso do Menu . . . . .	39
4.8	Jogo 1: Menu Configurações . . . . .	40
4.9	Jogo 1: Tutorial . . . . .	41
4.10	Jogo 1: Menu Principal . . . . .	41
4.11	Jogo 1: Menu Resultados . . . . .	42

4.12	Jogo 1: Representação visual dos limites no eixo horizontal e vertical que levam o jogador a ganhar/perder o controlo do ferro. . . . .	43
4.13	Jogo 1: Diagrama de estados / Agarrar e perder o ferro . . . . .	43
4.14	Jogo 1: Divisão da tábua de passar a ferro em estados . . . . .	44
4.15	Jogo 1: Diagrama de estados do jogo . . . . .	44
4.16	Jogo 1:Exemplo do movimento de Abdução/Adução . . . . .	45
4.17	Jogo 1:Alteração do cateto adjacente do eixo dos Z para o eixo dos X . . . . .	46
4.18	Jogo 1: Movimento Inválido . . . . .	47
4.19	Jogo 2: a) Borboleta de asas abertas b) Borboleta de asas fechadas . . . . .	49
4.20	Jogo 2: Cesto de roupa suja . . . . .	49
4.21	Jogo 2: Roupa Suja . . . . .	50
4.22	Jogo 2: Tanque . . . . .	50
4.23	Jogo 2: Bolhas . . . . .	50
4.24	Jogo 2: a) Roupa pouco lavada b) Roupa praticamente lavada c) Roupa lavada . .	51
4.25	Jogo 2: Estendal . . . . .	51
4.26	Jogo 2: Pontuação e Tempo . . . . .	51
4.27	Jogo 2: Casos de Uso do Menu . . . . .	52
4.28	Jogo 2: Menu Configurações . . . . .	52
4.29	Jogo 2: Menu Principal . . . . .	53
4.30	Jogo 2: Resultados . . . . .	53
4.31	Jogo 2: Movimento 1 / Flexão do Cotovelo . . . . .	54
4.32	Jogo 2:Flexão do Cotovelo . . . . .	54
4.33	Jogo 2: Divisão do cesto em estados . . . . .	55
4.34	Jogo 2: Diagrama de estados do movimento 1 . . . . .	56
4.35	Jogo 2: Movimento 2 / Circundução . . . . .	56
4.36	Jogo 2: Divisão do tanque em estados . . . . .	57
4.37	Jogo 2: Diagrama de estados do segundo movimento . . . . .	58
4.38	Jogo 2: Movimento3 / Flexão do Ombro . . . . .	58
4.39	Jogo 2:Flexão do Ombro . . . . .	59
4.40	Jogo 2: Limite Vertical para separar 2º e 3º Movimento . . . . .	60
4.41	Jogo 2: Diagrama de estados do 3º movimento . . . . .	60
5.1	Gráfico demonstrativo da extração de dados com identificador igual a 1 . . . . .	64
5.2	Algoritmo de identificação de máximos e mínimos . . . . .	65
5.3	Agregação e Ordenação dos picos máximos e mínimos depois de aplicado o duplo threshold . . . . .	66
5.4	Máximos e mínimos utilizados para calcular a amplitude média . . . . .	68
5.5	Esquema de passos para extração de caraterísticas . . . . .	68
5.6	Gráfico demonstrativo da separação dos dados em séries . . . . .	69
5.7	Gráfico demonstrativo da separação dos dados em movimentos . . . . .	70
5.8	Threshold que permite a separação dos dados entre o segundo e o terceiro movimento	71
5.9	Movimento 2: a)Adução b) Flexão c) Abdução d) Flexão . . . . .	72
5.10	Picos não detetáveis pelo algoritmo . . . . .	73
5.11	Subtração do valor médio ao sinal . . . . .	74
5.12	Gráficos das Caraterísticas dum jogador . . . . .	76
6.1	FLDA: Projeção dos dados . . . . .	82
6.2	FLDA: Sobreposição entre duas classes . . . . .	83
6.3	Exemplo da rede ingénua de Bayes . . . . .	84

6.4	Exemplo da rede ingénuia aumentada de Bayes . . . . .	85
6.5	SVM: Separação Linear . . . . .	85
6.6	SVM: Espaço de caraterísticas . . . . .	86
A.1	Inquérito de Satisfação . . . . .	101
B.1	Inquérito DASH . . . . .	103



# Lista de Tabelas

3.1	Métodos de medição de volume dos membros superiores . . . . .	14
3.2	Comparação de métodos 3D de medição de linfedema . . . . .	17
3.3	Comparação dos diferentes sistemas de deteção do movimento . . . . .	18
3.4	Escalas subjetivas utilizadas para avaliar a dor nos membros superiores de pacientes com cancro de mama. . . . .	27
3.5	Descrição dos jogos sérios criados para doentes crónicos . . . . .	31
3.6	Comparação do movimento do braço de uma paciente antes e depois de 10 sessões de fisioterapia com um jogo sério . . . . .	32
4.1	Comparação da amplitude de movimento do ombro entre o lado homolateral e contralateral à cirurgia . . . . .	35
4.2	Avaliação das atividades de vida diária por meio do questionário Frenchay Index Activities . . . . .	36
4.3	Diferenciação de Abdução e Adução . . . . .	45
4.4	Movimento de flexão: Cateto adjacente . . . . .	46
4.5	Valores para um movimento perfeito genérico . . . . .	47
4.6	Pontuação do ângulo de Abdução/Adução . . . . .	48
4.7	Pontuação do ângulo de Flexão . . . . .	48
4.8	Pontuação da flexão do cotovelo lateral . . . . .	48
4.9	Avaliação do primeiro movimento . . . . .	55
4.10	Aspeto da roupa consoante o número de movimentos realizados pelo jogador . . . . .	57
4.11	Ângulo necessário para estender a roupa consoante a série em que o jogador esteja. . . . .	59
4.12	Pontuação por movimento . . . . .	61
5.1	Deteção de Picos Locais . . . . .	67
5.2	Separação dos dados em séries. . . . .	69
5.3	Separação das séries em movimentos (incompleto). . . . .	70
5.4	Separação das séries em movimentos (completo) . . . . .	71
5.5	Cateto Adjacente no movimento de circundução . . . . .	73
6.1	Resposta ao Questionário . . . . .	80
6.2	Base de dados das pacientes adquiridas no hospital . . . . .	87
6.3	Correlação entre Linfedema, Dor, Fraqueza e Rigidez . . . . .	87
6.4	Condição física dos jogadores do 1º jogo . . . . .	87
6.5	Condição física dos jogadores do 2º jogo . . . . .	88
6.6	Jogo 1: Lista de Caraterísticas Extraídas . . . . .	88
6.7	Jogo 1: Caraterísticas Extraídas . . . . .	89
6.8	Resultados da classificação dos diferentes classificadores para Linfedema (Jogo 1) . . . . .	90
6.9	Matriz Confusão para Linfedema com SVM Radial (Jogo 1) . . . . .	90



6.10	Resultados da classificação dos diferentes classificadores para Dor (Jogo 1) . . .	91
6.11	Matriz Confusão para Dor com LDA (Jogo 1) . . . . .	91
6.12	Resultados da classificação dos diferentes classificadores para Rigidez (Jogo 1) .	91
6.13	Matriz Confusão para Rigidez com SVM Radial (Jogo 1) . . . . .	92
6.14	Resultados da classificação dos diferentes classificadores para Fraqueza (Jogo 1)	92
6.15	Matriz Confusão para Fraqueza com SVM Linear (Jogo 1) . . . . .	92
6.16	Jogo 2: Lista de Caraterísticas Extraídas . . . . .	93
6.17	Jogo 2: Caraterísticas Extraídas . . . . .	93
6.18	Resultados da classificação dos diferentes classificadores para Linfedema (Jogo 2)	94
6.19	Matriz Confusão para Linfedema com SVM Radial (Jogo 2) . . . . .	94
6.20	Resultados da classificação dos diferentes classificadores para Dor (Jogo 2) . . .	94
6.21	Matriz Confusão para Dor com SVM Quadrático (Jogo 2) . . . . .	95
6.22	Resultados da classificação dos diferentes classificadores para Rigidez (Jogo 2) .	95
6.23	Matriz Confusão para Rigidez com SVM Radial (Jogo 2) . . . . .	95
6.24	Resultados da classificação dos diferentes classificadores para Fraqueza (Jogo 2)	96
6.25	Matriz Confusão para Fraqueza com SVM Quadrático (Jogo 2) . . . . .	96
D.1	Jogo 2: Resultados Jogo 2 . . . . .	109
D.2	Jogo 1: Resultados Jogo 1 . . . . .	110
E.1	Resposta ao Questionário . . . . .	111

# Abreviaturas e Símbolos

RV	Realidade Virtual
ADN	Ácido Desoxirribonucleico
DCIS	Carcinoma Ductal ( <i>Ductal carcinoma in situ</i> )
CDI	Carcinoma Ductal Invasivo
CLI	Carcinoma Lobular Invasivo
MR	Mastectomia Radical
MRM	Mastectomia Radical Modificada
ALND	Dissecação de nós linfáticos na axila ( <i>Axillary lymph node dissection</i> )
SLND	Dissecação do nó linfático sentinela ( <i>Sentinel Lymph Node Dissection</i> )
SLN	Nó linfático sentinela ( <i>Sentinel Lymph Node</i> )
LED	Díodo emissor de luz ( <i>Light Emitting Diode</i> )
2D	2 Dimensões
3D	3 Dimensões
CAML	<i>Computer Aided Measurement Laser</i>
CAD	Desenho Assistido por Computador
MoCap	Captura de movimento ( <i>Motion Caption</i> )
CMOS	<i>Metal-oxide-semiconductor</i>
TOF	<i>Time of flight</i>
PSFS	<i>Patient-Specific Functional Scale</i>
DASH	<i>Disability of the Arm, Shoulder and Hand</i>
UEFI	<i>Upper Extremity Functional Index</i>
FACT-B	<i>Assessment of Cancer Therapy-Breast</i>
RMS	Valor Eficaz ( <i>Root mean square</i> )
EMG	Electromiografia
FLDA	<i>Fisher Linear Discriminant Analysis</i>
LDA	<i>Linear Discriminant Analysis</i>
SVM	<i>Support Vector Machines</i>



# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Introdução

O cancro da mama é considerado um problema de saúde pública e é o cancro mais comum entre mulheres, representando 23% de todos os cancros. Uma em cada dez mulheres irá ter cancro da mama em qualquer fase da sua vida [1]. Aproximadamente 25% das pacientes diagnosticadas com cancro da mama apresentam células cancerígenas no nó linfático da axila. Dessa forma, para além da remoção do tumor, os tratamentos normalmente incluem a remoção dos nós linfáticos e radioterapia [2][3][4].

Hoje em dia, a deteção precoce do tumor, através da mamografia, permite intervir num estado inicial da doença e assim reduzir o número de incidências de metástases e tumores nos nós linfáticos. A deteção inicial da doença assim como tratamentos conservativos tem permitido a não remoção de nós linfáticos na axila [3]. No entanto foi demonstrado que o linfedema pode também ocorrer após operações onde o sistema linfático é conservado [5].

A ocorrência de linfedema secundário devido ao cancro da mama varia entre 6% a 63%[5]. Esta complicação ocorre principalmente por remoção cirúrgica dos nós linfáticos ou devido à radiação utilizada nos tratamentos. O linfedema é uma doença crónica, progressiva, incurável que pode levar a inchaços da mão, braço, peito, torso ou ipsilateral e que leva a uma sobrecarga física, funcional e psicossocial nas pacientes[6]. A maioria das pacientes é capaz de realizar a sua vida normal, contudo, algumas pacientes sofrem de depressão, ansiedade e imparidades relacionadas com o seu íntimo, trabalho e relações sociais devido à aparência do membro afetado [7]. Em alguns casos mais extremos o linfedema pode levar a alterações na pele, dor e perda da sensibilidade do membro [6].

### 1.2 Motivação

Em 1998 foi declarado pelo diretor do Instituto Nacional do Cancro da América que 8.5 milhões de Americanos sobreviviam depois de diagnosticado cancro, e que dessa fração, cerca de 2

milhões eram sobreviventes de cancro da mama. Desde então muitos médicos e cientistas começaram a estudar a qualidade de vida depois do tratamento ao cancro da mama [8].

O cancro da mama apresenta como principal tratamento a mastectomia. Esta é uma cirurgia que implica retirar totalmente ou parcialmente a mama. Os pacientes submetidos a este processo cirúrgico ficam sujeitos a diversas complicações sendo uma delas o linfedema [9] [10]. O linfedema é uma doença que tem vindo a receber alguma atenção ultimamente, em grande parte devido ao aumento de pacientes que sofre desta complicação. O linfedema é um problema grave para um grande número de mulheres pois diminui a sua qualidade de vida e não existem tratamentos absolutos. Exceto a recorrência do cancro da mama, nenhum malfeito é mais temido que o desenvolvimento do linfedema.

O linfedema não é curável, contudo pode ser controlado através da deteção no estado inicial e um tratamento apropriado [11]. Existem diversas formas de tratamento de linfedema como medicamentos e cirurgias. Contudo, a maior parte destes tratamentos são incompletos e não têm tido sucesso, uma vez que não permitem a movimentação do fluído que se encontra estagnado. Para além disso, estes tratamentos são desconfortáveis e dolorosos e de difícil adaptação [12]. Desta forma o tratamento recomendado às pacientes é uma combinação de ligaduras de compressão com fisioterapia que permitem assim melhorar o fluxo linfático.

O linfedema é um incómodo físico e emocional que pode ocorrer em pacientes mastectomizadas, e que pode ter como efeito secundário depressão, ansiedade e necessidade de seguimento psicológico ou psiquiátrico. O linfedema provoca na paciente um dano estético e um prejuízo funcional do membro afetado assim como várias consequências mentais. O braço com linfedema pode atrair a atenção de outras pessoas, o que pode levar a uma diminuição do interesse nas atividades sociais e de auto-estima por parte da paciente que apresenta essa complicação. Para além do lado estético e social, é de reforçar que, se o linfedema não for controlado poderá aumentar o volume do membro e aumentar as dificuldades na realização das tarefas domésticas e no trabalho [13].

Existem diversas formas de realizar o tratamento de linfedema, contudo nenhuma é tão benéfica como a fisioterapia. As pacientes submetidas a este tratamento retornam mais rapidamente às suas atividades quotidianas, readquirindo amplitude nos movimentos, força, coordenação, auto-estima e, principalmente, minimizando as possíveis complicações pós-operatórias [14].

A utilização de recursos computacionais e técnicas como a Realidade Virtual (RV) são iniciativas que permitem realizar um tratamento de uma forma inovadora e que permitem motivar a paciente. Desta forma, o uso de ambientes virtuais com interação em jogos pode ser uma solução extremamente viável para pessoas que necessitam passar por este processo de reabilitação, contrapondo aos procedimentos tradicionais que podem tornar-se repetitivos, desmotivantes e onde nem sempre se obtém resultados satisfatórios.

## 1.3 Objetivos

O principal objetivo deste estudo é o desenvolvimento de uma nova metodologia que aliada a um equipamento de baixo custo, Microsoft Kinect, permita criar um sistema de reabilitação dos membros debilitados de pacientes com linfedema. O sistema avaliará em tempo real a execução dos movimentos propostos e dará o *feedback* à paciente do que deverá melhorar, de modo a permitir uma melhor execução destes.

A utilização da Kinect permite obter dados de cor (RGB) e de profundidade, mas principalmente permite acompanhar a posição das juntas do jogador. Desta forma, através da posição das articulações é possível extrair características em tempo real dos movimentos realizados pela paciente. Com estas será possível avaliar o movimento permitindo realizar uma avaliação funcional do estado do ombro/braço de pacientes operadas ao cancro da mama.

Os jogos desenvolvidos neste estudo poderão ser úteis não só para pacientes com linfedema, mas também para pacientes portadores de outras patologias, ou seja, pacientes com dor, rigidez ou fraqueza no braço/ombro.

Este sistema para além de permitir à paciente realizar os exercícios de reabilitação do ombro/braço em casa, também irá possibilitar a deteção precoce de linfedema, dor, rigidez ou fraqueza, tornando-se uma ferramenta útil para os clínicos.

A investigação deste estudo dependerá da disponibilidade das pacientes para obtenção de dados para o desenvolvimento dos modelos. Pelo que este projeto incluirá a recolha de um conjunto de dados com a ajuda de um especialista em cancro da mama.

## 1.4 Contribuições

O trabalho proposto teve três contribuições principais:

1. Utilizando o Kinect foi desenvolvida uma aplicação que pode ser utilizada em casa como um sistema de reabilitação do ombro/braço.
2. Foi criada uma base de dados de pacientes com cancro da mama realizando movimentos de adução/abdução, circundição, flexão e extensão do cotovelo. Esta base de dados é uma ferramenta única e pode levar a novos desenvolvimentos dentro da área.
3. São propostos modelos adequados para a avaliação da mobilidade dos membros superiores e para a deteção de linfedema, dor, rigidez e fraqueza em pacientes operadas ao cancro da mama.

## 1.5 Estrutura do Documento

Além da introdução, este documento é composto por mais seis capítulos. No capítulo 2, é realizada uma introdução para o problema do cancro da mama. No capítulo 3, é feita uma revisão da literatura e é fornecida informação sobre métodos de deteção de linfedema, avaliação do

movimento do braço/ombro, detecção de movimentos, câmaras RGB e jogos sérios. O Capítulo 4, descreve os dois jogos realizados neste estudo, enquanto no Capítulo 5 é explicada a extração de características. Finalmente, no Capítulo 6, são observados os resultados obtidos.

## Capítulo 2

# Cancro da Mama

### 2.1 Anatomia da Mama

A mama é um órgão altamente eficiente usado principalmente para produzir leite. É uma massa glandular de gordura e tecidos fibrosos posicionados ao longo dos músculos peitorais da parede torácica [15].

A forma da mama é semelhante a uma gota e estende-se até a axila, conhecida como a cauda de Spencer. Cada glândula mamária consiste entre 15 a 20 lobos glandulares. Por sua vez, cada lobo é composto por mais de 40 lóbulos mais pequenos, também conhecidos como ductos lobulares terminais. Os lóbulos terminam em vários bulbos que são as células responsáveis pela secreção de leite. Os lobos, lóbulos e bulbos estão todos interligados pelos ductos [16] (ver figura 2.1).

Os ductos vão até o mamilo (papila), localizado no centro da área escura da pele, que se chama aréola. As outras partes da mama são preenchidas por gordura e tecido conjuntivo de sustentação.

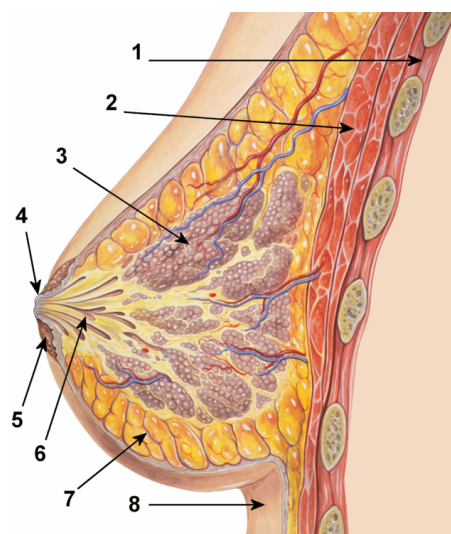


Figura 2.1: Anatomia do Peito: 1. Caixa torácica; 2. Músculo peitoral; 3. Lóbulos; 4. Mamilo; 5. Aréola; 6. Ductos; 7. Tecido adiposo; 8. Pele <sup>1</sup>



## 2.2 Sistema Linfático Mamário

O sistema linfático compreende uma extensa rede de vasos [17]. Os vasos linfáticos têm a função de drenar o excesso de líquido que sai do sangue e banha as células. O excesso de líquido que circula nos vasos linfáticos (linfa) é devolvido ao sangue.

O sistema linfático possui três funções:

1. Remoção dos fluidos em excesso dos tecidos corporais;
2. Absorção dos ácidos gordos e transporte subsequente da gordura para o sistema circulatório;
3. Produção de células imunes (como linfócitos, monócitos e células produtoras de anticorpos conhecidas como plasmócitos).

Nos membros superiores, todos os vasos linfáticos drenam para os gânglios linfáticos da axila. Além disso, estes gânglios recebem fluídos da parte superior das costas e ombro, parte inferior do pescoço e do peito. Em relação ao peito, aproximadamente 75% da drenagem da linfa das glândulas mamárias é realizada através dos vasos linfáticos dos gânglios linfáticos da axila (ver figura 2.2).

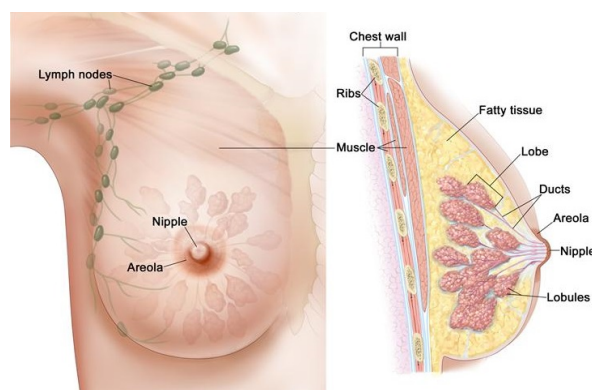


Figura 2.2: Sistema Linfático Mamário <sup>2</sup>

## 2.3 Carcinoma da Mama

O cancro da mama pode iniciar-se quando uma célula começa a crescer fora de controlo. As células têm um ciclo de vida que controla o seu crescimento, maturidade, divisão e morte. A divisão da célula e o seu crescimento é controlado pelo ácido desoxirribonucleico (ADN). O ADN é uma molécula altamente complexa fabricada no núcleo da célula e funciona como o "cérebro" desta. Numa célula humana, o ADN é disposto em 46 secções distintas chamadas cromossomas que se encontram dispostos em pares. Juntos, os 46 cromossomas contêm mais de 100.000 genes. Um gene é um segmento de ADN que determina a estrutura de uma proteína, que é necessária para o

<sup>1</sup>[http://www.centrodemama.com.br/paginas/pacientes\\_e\\_publico/anatomia\\_da\\_mama](http://www.centrodemama.com.br/paginas/pacientes_e_publico/anatomia_da_mama)

<sup>2</sup><http://cancermedicines.in/cancer-type-details.php?category=breast-cancer>

desenvolvimento e crescimento, bem como a realização de funções vitais no corpo. Uma célula com cancro aparece quando uma célula normal sofre danos no ADN que não é reparado e a célula não morre e divide-se propagando assim o dano.

O cancro da mama inicia-se com o aparecimento dum tumor maligno das células da mama. Normalmente o cancro da mama desenvolve-se nas células dos lóbulos ou nos ductos. Menos comumente, o cancro da mama pode iniciar-se nos tecidos finos, o que inclui a gordura e tecidos conjuntivos fibrosos da mama. Existem diferentes tipos de cancro da mama que podem ser divididos em invasivos e não invasivos. Cancro da mama não invasivo é quando o cancro permanece no local de origem e o cancro não progride para tecidos dentro ou fora da mama. Um tipo de cancro não invasivo é o carcinoma ductal (DCIS) que é considerado uma lesão pré-cancerígena, ou seja, mesmo que as células anormais não se tenham espalhado, eventualmente poderá desenvolver-se num cancro da mama invasivo.

No cancro da mama invasivo, as células anormais espalham-se fora da membrana que reveste uma conduta ou lóbulo, espalhando-se assim para os tecidos mais próximos. As células podem viajar através da corrente sanguínea ou do sistema linfático para outras partes do corpo, como ossos, pulmões ou fígado, criando metástases. Alguns dos cancros da mama invasivos mais comuns são o Carcinoma Ductal Invasivo (CDI) e o Carcinoma Lobular Invasivo (CLI) [2].

Segundo estudos de 2013, o cancro da mama é o cancro que mais é diagnosticado entre as mulheres, sendo 29% das ocorrências de cancro entre as mulheres e o segundo cancro mais mortífero, sendo que de todas as vítimas fatídicas de cancro, 14% é devido ao cancro da mama (apenas ultrapassado pelo cancro dos pulmões) [18]. Como se pode observar na figura 2.3, o cancro da mama é o cancro que afeta um maior número de pacientes.

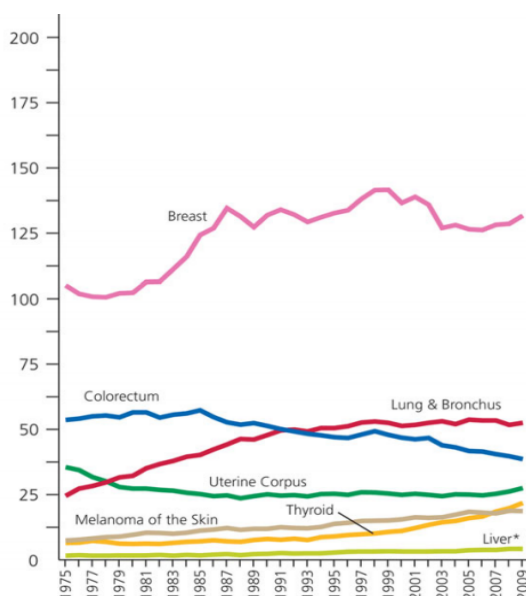


Figura 2.3: Tendências da incidência de cancros no sexo feminino nos Estados Unidos entre 1975-2009 [18].

## 2.4 Tratamento do Cancro da Mama

O objetivo principal no tratamento do cancro da mama é controlar a doença com o objetivo de alcançar a cura. Os outros resultados desejáveis de tratamento incluem: aumentar as hipóteses de sobrevivência, minimizar o risco de metástases distantes, alívio dos sintomas e o retorno a uma vida de qualidade tão perto quanto possível da vida que se tinha antes do diagnóstico [19].

As diferentes formas de tratamento consistem em cirurgia, radioterapia e terapia sistémica (manipulação hormonal e drogas citotóxicas). O tratamento cirúrgico inicial do cancro da mama foi a excisão ampla, mas foi associada a uma elevada taxa de recorrência local e baixa sobrevivência [19].

A Mastectomia Radical levou a uma melhoria na taxa de recorrência local, mas o potencial curativo manteve-se limitado. Este método consiste na remoção cirúrgica da mama na totalidade.

Existem vários tipos de mastectomia:

1. Mastectomia Simples/Total: envolve a remoção da mama, mamilo, auréola e os nós linfáticos.
2. Mastectomia Parcial: remove apenas a parte da mama com cancro e algum do tecido a sua volta.
3. Mastectomia Subcutânea (Preservação do Mamilo): existe a remoção de toda a mama exceto do mamilo.
4. Mastectomia Radical Modificada (MRM): remoção da mama, mamilo, auréola e os nós linfáticos da axila, contudo deixa a caixa torácica intacta.
5. Mastectomia Radical (MR): utilizada quando o tumor é grande e já se propagou para os músculos da caixa torácica.

Embora a MRM seja um procedimento menos mórbido comparado com a MR, a paciente continua a perder a mama. Numa tentativa de preservar a mama sem comprometer a sobrevivência do paciente apareceu a Terapia Conservativa da Mama. Este método consiste numa cirurgia conservativa a mama (ressecção do tumor primário) seguida de radioterapia.

A terapia de radiação é normalmente usada depois da remoção cirúrgica do tumor de forma a erradicar qualquer resíduo de células cancerígenas. Contudo, alguns efeitos secundários deste tratamento, causado por interferências da drenagem linfática, incluem inchaço e aumento do peso do braço afetando assim a mobilidade do membro [20].

## 2.5 Dissecação do nó linfático

A principal rota de drenagem linfática da mama é através do grupo de nós linfáticos da axila. O sistema linfático facilita a propagação do cancro uma vez que as células cancerígenas podem entrar nos vasos linfáticos e começar a crescer nos nós linfáticos. Cerca de 40% das mulheres

diagnosticadas com cancro da mama têm células cancerígenas nos nós linfáticos das axilas [21]. Desta forma, para além da remoção do cancro da mama através de cirurgia, é necessário a remoção de um ou mais nós linfáticos nas axilas para verificar se o cancro se espalhou pelo peito.

Dissecação de nós linfáticos na axila (*Axillary lymph node dissection/ALND*) tem sido utilizada na cirurgia ao cancro da mama desde a Mastectomia Radical [3]. Esta técnica envolve a remoção de no mínimo 6 nós linfáticos. Como se pode observar na figura 2.4, este tratamento implica a remoção de vários nós linfáticos na axila e leva a uma danificação do sistema linfático.

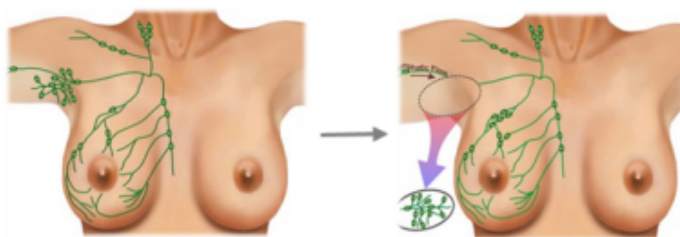


Figura 2.4: Dissecação dos nós linfáticos da Axila [2]

A dissecação ao nó linfático sentinela (*Sentinel Lymph Node Dissection/SLND*) foi introduzida no início dos anos 90 como um método mini-invasivo que investiga o estado da axila quando existe cancro da mama, permitindo não realizar a ALND caso os nós linfáticos não estejam em risco. O primeiro nó linfático a receber a linfa drenada do peito é chamado nó linfático sentinela (SLN). Desta forma, se este nó estiver desimpedido do tumor, isto indica a ausência de metástases do cancro.

Se o paciente tiver um número limitado de metástases no SLN e utilizar um tratamento conservativo e terapia sistemática, a utilização do SLND comparada com ALND tem a mesma taxa de sobrevivência [3] e permite não extrair o sistema linfático na axila.

A interrupção do sistema linfático na axila irá ter como resultados a acumulação de fluidos no tecido subcutâneo do braço, o que levará a diminuição da flexibilidade do membro e ao aumento do peso deste. Desta forma funcionalidades significativas do braço ficam limitadas devido ao ALND [20].

## 2.6 Linfedema

Linfedema hereditário e condições hereditárias associadas ao linfedema são bastante raras ocorrendo a uma taxa de 1 para 500 pessoas (síndrome Klinefelter). No entanto, muitas pessoas adquirem o linfedema ao longo da sua vida, sendo que o maior número de casos de linfedema ocorre devido ao grande número de pacientes submetidos à cirurgia do cancro pélvico e da mama [22].

Linfedema no braço pode aparecer depois de uma cirurgia de remoção do cancro da mama e terapia de radiação uma vez que o sistema linfático na axila é removido [20]. Linfedema é

uma tumefação<sup>3</sup> de algum órgão do corpo, decorrente da perturbação ou obstrução na circulação linfática<sup>4</sup> como consequência de uma drenagem linfática deficiente [23]. Consiste numa acumulação do fluido linfático no tecido intersticial/ conjuntivo<sup>5</sup>, o que causa edema<sup>6</sup>, mais frequente em braços e pernas, quando os vasos linfáticos estão prejudicados.

Uma vez que o fluido linfático é rico em proteínas, ocorre uma acumulação de proteínas na região afetada, o que pode causar redução na disponibilidade de oxigénio e fornecer um meio de cultura bacteriana, resultando em linfagite<sup>7</sup>.

Embora o linfedema geralmente afete um ou mais membros, os seus efeitos podem manifestar-se em outros órgãos. É normalmente uma doença crónica, não importando a patogénese<sup>8</sup>, que coloca obstáculos físicos e psicológicos de longo prazo para a paciente [22].

A incidência de linfedema depois do tratamento para cancro da mama pode variar entre 6% a 67%, dependendo da extensão da cirurgia e o uso de radioterapia [8] [24].

O linfedema pode ser dividido em 3 fases [25]:

1. Durante a primeira fase, "reversível", observa-se a presença do edema<sup>9</sup>.
2. Na segunda fase, denominada como "espontaneamente irreversível", a pele começa a ficar mais espessa e ocorre um aumento do número de queratinócitos<sup>10</sup> e das células do tecido conjuntivo (ver figura 2.5).
3. Na terceira e última fase, "elefantíase"<sup>11</sup>, é caracterizada por hiperqueratose<sup>12</sup> e por um aumento colossal do volume do membro.

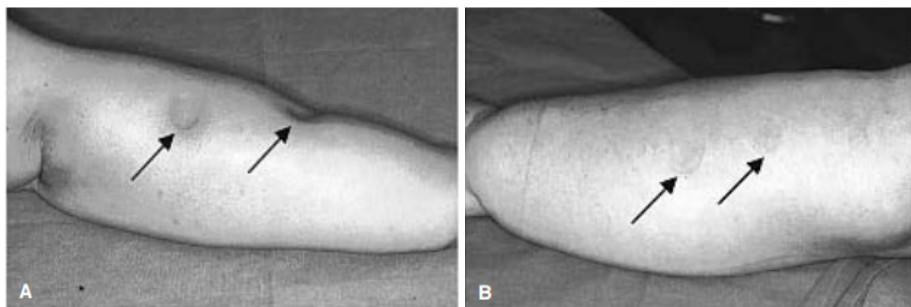


Figura 2.5: Fases do Linfedema: a) Fase I b) Fase II [26]

<sup>3</sup> aumento de volume

<sup>4</sup> responsável pela absorção de detritos e macro moléculas que as células produzem durante o seu metabolismo

<sup>5</sup> grupo de tecidos orgânicos responsáveis por unir, ligar, nutrir, proteger e sustentar os outros tecidos

<sup>6</sup> acumulação anormal de líquido no compartimento extra-celular intersticial

<sup>7</sup> inflamação de um ou mais vasos linfáticos

<sup>8</sup> modo como os agentes patogénicos agredem o nosso organismo e os sistemas naturais de defesa reagem, surgindo mesmo assim, lesões e disfunções das células e tecidos agredidos, produzindo-se a doença

<sup>9</sup> acumulo anormal de líquido no compartimento extra-celular intersticial

<sup>10</sup> principal tipo de célula da epiderme. Células responsáveis por produzir a queratina

<sup>11</sup> doença parasitária que afeta a circulação linfática

<sup>12</sup> produção excessiva de proteínas, tais como as queratinas. Este termo é normalmente aplicado para referir um endurecimento da pele.

O Linfedema continua a ser uma consequência incurável da remoção cirúrgica dos nós da axila. Contudo, os terapeutas continuam focados em minimizar o edema e restaurar a funcionalidade do membro. Para além disto, foi comprovado que um edema controlado minimiza o risco de doença crónica e reaparecimento de infeções no membro [27].

## 2.7 Tratamento do Linfedema

Existem diversas maneiras de realizar o tratamento para o linfedema. Contudo, todas elas são caras e dispendiosas [28]:

1. **Elevação:** Não é considerado como fisioterapia e é uma das primeiras intervenções recomendadas por oncologistas e cirurgiões. O mecanismo da elevação no controlo do linfedema ainda não foi comprovado, no entanto alguns autores [29] indicam que a elevação do membro reduz a pressão hidrostática intra vascular e dessa forma diminui as forças intra vasculares responsáveis em parte pela produção da linfa.
2. **Massagens:** Dentro dos canais linfáticos, existem válvulas que permitem ao fluído linfático fluir na direção do coração. Ao massajar ao longo do braço até ao coração, as válvulas permitem o fluido deslocar-se na direção correta (do braço para o sistema circulatório).
3. **Exercício Físico:** Lentamente, o exercício físico permite aumentar progressivamente o stress fisiológico colocado no braço afetado levando o corpo a aumentar a capacidade de trabalho máximo no membro afetado. Desta forma, atividades diárias comuns, como carregar compras, exigirão uma menor percentagem de capacidade máxima. O que traduz uma redução do agravamento do linfedema assim como uma melhor funcionalidade do membro e um aumento da qualidade de vida [24]. Alguns dados obtidos permitem demonstrar que o exercício facilita a circulação da linfa assim como a reabsorção das proteínas [28].
4. **Compressão:** A compressão é definida como a aplicação de uma pressão externa ao membro. Este método é utilizado por duas razões: tentar reduzir a formação do edema e para ajudar a remover o excesso de fluido linfático que já se encontra acumulado no membro. A compressão pode ser feita de duas formas distintas:

**Vestuário de Compressão:** são usados amplamente no controlo de linfedema.

**Compressão Pneumática:** imita os mecanismos fisiológicos naturais da ação de bombeamento dos músculos para retornar o fluido de volta para o sistema linfático através de um gradiente de pressão [30]. É seguro, não invasivo e simples de usar como se pode observar na figura 2.6.

---

<sup>13</sup><http://www.arjohuntleigh.com/products/vascular-therapy/lymphoedema-therapy-pumps/>



Figura 2.6: Compressão Pneumática<sup>13</sup>

Caso este métodos de fisioterapia conservativa não resultem é sempre possível recorrer a cirurgia (liposucção) para reduzir o excesso de volume do membro [26] sem comprometer ainda mais o sistema linfático [31]. Contudo, sem a prática de fisioterapia depois da liposucção o membro irá voltar ao estado inicial.

A farmacoterapia tem também sido sugerida como um suplemento para o tratamento do linfedema. A cumarina ou benzopirona tem um efeito benéfico sobre o linfedema. Esta classe de medicamentos funciona estimulando a proteólise <sup>14</sup>. Estes compostos fornecem um método para remover o excesso de proteínas e consequentemente o edema e suas sequelas (inflamações) [32]. Infelizmente, não existem dados sobre os efeitos a longo prazo ou toxicidades destes agentes [28].

## 2.8 Conclusão

O linfedema traduz-se num incómodo físico e emocional para as mulheres mastectomizadas. Muitas delas experimentam depressão, ansiedade, e chegam a necessitar de seguimento psicológico ou psiquiátrico. O linfedema após a mastectomia causa para além do dano estético um prejuízo funcional do membro afetado, e sérias consequências mentais.

O braço com linfedema pode atrair a atenção das pessoas, tendo assim um efeito negativo no paciente com linfedema levando à perda de interesse em atividades sociais. Para além das complicações sociais as complicações físicas também comprometem a realização de atividades físicas como, por exemplo, a dificuldade na realização das tarefas em casa e no trabalho.

Esta complicação é considerada a que mais piora a qualidade de vida de um sobrevivente de cancro que tenha realizado uma remoção cirúrgica [33] e os primeiros sintomas aparecem em 90% dos casos até 3.9 anos depois da cirurgia, sendo que o máximo de tempo expectável para o aparecimento dos sintomas seja aproximadamente 4 anos [34].

Pouco se sabe sobre a prevenção do linfedema, e é considerada uma doença incurável, progressiva, desfigurante e incapacitante que é difícil de tratar [35].

---

<sup>14</sup>processo de degradação (digestão) de proteínas por enzimas, chamadas proteases, ou por digestão intramolecular



## Capítulo 3

# Estado da Arte

### 3.1 Detecção Precoce de Linfedema

#### 3.1.1 Métodos de Avaliação

Existem duas maneiras de avaliar as alterações da parte superior do membro afetado pelo tratamento:

1. Avaliação da alteração da forma dos membros superiores, ou seja, a identificação de um volume maior no membro afetado. Estes resultados podem indicar a presença de linfedema.
2. Apesar de métodos objetivos de avaliação funcional terem como foco a deteção do inchaço no braço é possível identificar outros aspetos de interesse funcional, como limitação da amplitude do movimento do ombro restrito e a redução da força e flexibilidade [2].

Para decidir qual o método de tratamento mais adequado deve ter-se em conta vários fatores como a sensibilidade e especificidade de medida, a capacidade de identificar linfedema precocemente (antes do paciente reportar sintomas avançados), se o método é acessível, transportável, prático para o uso clínico, não invasivo e eficiente.

Visto que diferentes métodos permitem avaliar diferentes elementos da doença, o uso de múltiplas formas de deteção e tratamento é o método ideal especialmente para detetar alterações ao longo do tempo [36].

Em muitos casos de doença avançada, um historial permite estabelecer o diagnóstico de linfedema com muita eficácia. No entanto, testes adicionais às vezes são necessários para confirmar a diminuição do fluxo linfático ou para detetar padrões típicos de distribuição anormal de fluido nos tecidos.

O diagnóstico é mais difícil de verificar nas fases iniciais, particularmente quando o edema é leve ou intermitente. No entanto para se obter com precisão o estado do sistema linfático é necessário realizar testes clínicos com grande precisão, sendo utilizado em geral as linfografias que consistem em injetar um agente contrastante.

Hoje em dia os dois métodos mais utilizados usando marcadores para a deteção são:



1. *Isotopic lymphoscintigraphy*: método que utiliza um marcador radioativo macro-molecular que é injetado subcutaneamente e depois é observado o marcador radioativo através de uma câmara de detecção de raios gama.
2. *Contrast lymphography*: método que consiste em introduzir nos vasos linfáticos uma base de iodo, solúvel nos líquidos, de alto contraste.

Contudo, estes exames médicos, mesmo sendo de elevada taxa de acerto, são de elevado custo e demasiado lentos e invasivos para o paciente [37]. Existem outros métodos que permitem de uma forma mais acessível e rápida a detecção, tendo a grande vantagem de não obrigarem a introdução de marcadores no paciente.

### 3.1.2 Métodos Utilizados para a Detecção de Linfedema

Medidas pré e pós operação em ambos os braços são uma forma útil de avaliar e diagnosticar linfedema. As medidas das circunferências devem ser feitas em 4 pontos: articulações metacarpo-falange, pulsos, 10 cm de distância dos epicôndilos laterais e a 15 cm dos epicôndilos laterais. Os clínicos devem estar atentos a sintomas de fraqueza, inchaço e estreitamento do membro afetado. Uma diferença de mais de 2 cm ou de 10% entre os dois membros em algum destes 4 pontos de medida podem justificar um tratamento [25] [29] [38].

Contudo, este processo de medições é bastante lento, pelo que normalmente se faz a detecção de linfedema pela comparação do volume do membro saudável com o volume do membro afetado. Para além da comparação do volume dos dois membros existem diversas metodologias que verificam a detecção de linfedema como se pode observar na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Métodos de medição de volume dos membros superiores

<b>Método</b>	<b>Tempo</b>	<b>Deslocação</b>	<b>Eficácia</b>	<b>Custo</b>	<b>Complexidade</b>
Deslocamento da água <sup>1</sup> [2] [39] [40]	Rápido	Sem	Elevada	Baixo	Média
Roda de medição / <i>Measuring wheel</i> <sup>2</sup> [41]	Rápido	Sem	Baixa	Baixo	Baixa
Compassos de calibre automáticos <sup>3</sup> [41]	Rápido	Sem	Baixa	Baixo	Baixa
Medidas das circunferências <sup>4</sup> [2] [42]	Rápido	Com	Baixa	Baixo	Baixa
Perometer <sup>5</sup> [2] [43]	Médio	Sem	Elevada	Médio	Elevada
CT <sup>6</sup> [2] [15] [37]	Lento	Sem	Elevada	Média	Elevada
DEXA <sup>7</sup> [2] [44]	Lento	Sem	Elevada	Elevado	Elevada

BIS <sup>8</sup> [2] [45]	Médio	Sem	Média	Elevado	Média
---------------------------	-------	-----	-------	---------	-------

<sup>1</sup>O membro é imerso em água disposta num recipiente e o volume de água deslocado representa o volume do membro. A água excedente pode ser pesada com uma balança eletrónica para poder obter uma melhor precisão.

<sup>2</sup>O objetivo da roda de medição é calcular a distância por onde se desloca. Um contador vai incrementando quantas voltas a roda deu para percorrer a circunferência do membro. É importante garantir que a roda começa e acaba na mesma posição e que se encontre sempre perpendicular ao membro (ver figura 3.1).

<sup>3</sup> Tem como conceito medir a espessura de uma secção transversal do membro em vez de medir a circunferência. Estes valores são utilizados para aproximar a secção transversal do membro a uma elipse. O conceito é semelhante ao dos calibradores e utiliza um motor que automaticamente ajusta o aparelho ao membro (ver figura 3.1).

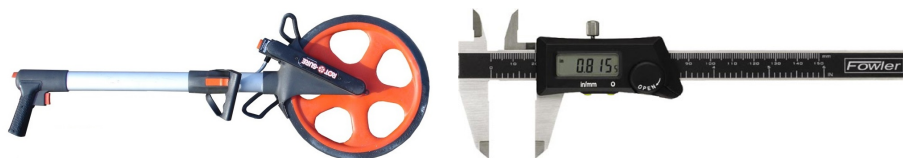


Figura 3.1: a) Roda de Medição / *Measuring Wheel* <sup>1</sup> b) Compasso de calibre automáticos <sup>2</sup>

<sup>4</sup>O volume pode ser estimada assumindo volumes cilíndricos/ cónicos e realizando várias medições ao longo do membro.

<sup>5</sup>O Perometer <sup>®</sup> é um dispositivo que examina o membro através da interrupção de feixes de luz infravermelha no membro e obtém o volume do mesmo em curtos intervalos. O funcionamento consiste em pousar o membro horizontalmente sobre a estrutura que contém uma fonte de luz infravermelha que emite feixes de luz em dois lados e do lado oposto contém uma linha de sensores. O movimento da estrutura ao longo do membro permite o cálculo automático do volume a partir de um elevado número de medições feitas a um intervalo de 0,31mm (ver figura 3.2).

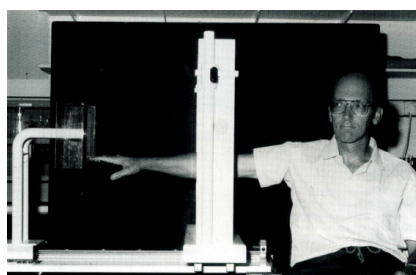


Figura 3.2: O paciente mantém o braço suspenso na horizontal enquanto o aparelho move-se ao longo do membro. O Perometer obtém o volume através de um grande número de medidas de diâmetro do membro [43].

<sup>15</sup><http://www.meonuk.com/rotosure-measuring-wheel>

<sup>16</sup>[http://gardco.com/pages/measuring\\_instru/mt/electdigital\\_calipers.cfm](http://gardco.com/pages/measuring_instru/mt/electdigital_calipers.cfm)

<sup>6</sup>A tomografia computadorizada é uma tecnologia que usa raios-X processados por computador para produzir imagens tomográficas ('fatias' virtuais) de áreas específicas do objeto verificado, permitindo ao utilizador ver o interior. Desta forma permite determinar a secção geral transversal e a área e quantificar a densidade dos tecidos podendo assim detetar linfedema. O nível de precisão alcançada com este equipamento é inigualável por qualquer outra técnica não invasiva (ver figura 3.3).

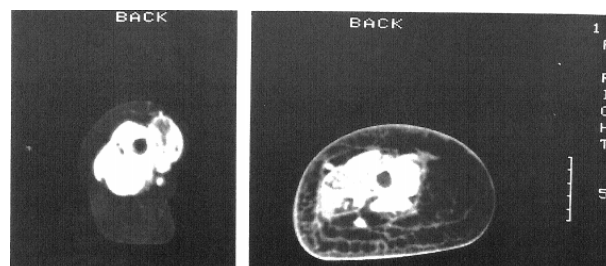


Figura 3.3: Scan de um membro esquerdo (normal) e direito (com linfedema) de uma paciente através de uma tomografia [42]

<sup>7</sup>O DEXA (*Dual Energy X-ray Absorptiometry*) é utilizado para estudar a composição de tecidos e a densidade mineral óssea, e utiliza dois feixes de raios-X, com diferentes níveis de energia.

<sup>8</sup>O BIS (*Bioelectrical Impedance Spectroscopy*) é um processo que consiste em passar uma pequena corrente elétrica, numa gama de frequências que permite retirar informação, pelo corpo do paciente. Através das medidas da impedância obtidas é possível obter o volume do membro. O princípio de funcionamento consiste em que os fluídos intra e extra celulares funcionam como uma rede de resistências e as membranas celulares funcionam como condensadores imperfeitos. Medindo a impedância entre o membro afetado e o membro saudável é possível detetar de uma forma eficaz o linfedema.

Na prática clínica as medidas das circunferências dos membros são usados principalmente porque são fáceis de realizar e por utilizarem o membro saudável como forma de comparação [46]. No entanto, a sua quantificação objetiva, especialmente o volume, sempre foi complicada de realizar [47], quer por motivos de duração, quer por motivos de precisão ou por serem de complicada utilização.

Desta forma surge a necessidade de arranjar novos métodos que permitam de uma forma barata, rápida, acessível e não invasiva a deteção de linfedema.

### 3.1.3 Deteção de Linfedema com 3D

A rápida evolução da tecnologia 3D na última década permitiu o desenvolvimento de várias e eficientes aplicações rentáveis em medicina. Assim, os métodos tradicionais de avaliação estão a ser substituído pelo uso de sistemas mais sofisticados [2]. Nos últimos anos tem vindo a ser propostos alguns sistemas de laser 3D que permitem a medição do volume de membros com edema como se pode observar na tabela 3.2.

Tabela 3.2: Comparação de métodos 3D de medição de linfedema [2]

Sistema	Tempo	Complexidade	Precisão	Custo
<i>Polhemus Fastscan</i> <sup>1</sup>	Baixo	Elevada	Elevada	Elevado
CAML <sup>2</sup>	Baixo	Média	Elevada	Elevado
Sensor Infravermelho <sup>3</sup> (Kinect) com giroscópios e acelerômetros	Médio	Baixa	Elevada	Baixo

<sup>1</sup> O *Polhemus Fastscan*, consiste em passar um laser de baixa energia pelo membro. O instrumento lê a topografia tridimensional da superfície e de seguida cria um modelo digital do objeto. O volume exato é então calculado a partir dos dados obtidos. Este procedimento de digitalização é indolor e pode levar entre 5 a 10 minutos por membro [48].

<sup>2</sup> A CAML (*Computer Aided Measurement Laser*) é uma tecnologia de digitalização a laser 3D (FastSCAN™) e desenho assistido por computador (CAD). As medições são recolhidas pelo laser que verifica o objeto (tamanho, forma, cor) em tempo real e em seguida, utiliza para projetar um modelo 3D do item através de um software que permite realizar desenhos técnicos (CAD).

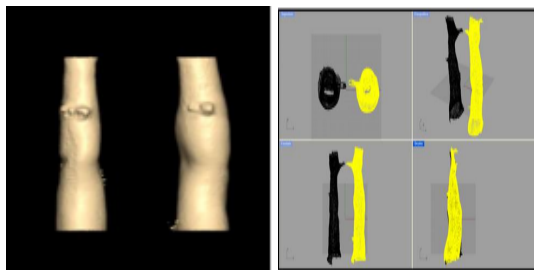


Figura 3.4: Modelo 3D do membro afetado e do membro saudável obtidos com a técnica CAML

<sup>3</sup>É possível medir o volume do membro e detetar antecipadamente o edema através de sensores infravermelhos, como a Microsoft Kinect. O sensor infravermelho é utilizado para capturar diferentes imagens do braço enquanto é movimentado a volta deste [11].

O Microsoft Kinect para além de permitir a deteção de linfedema de uma forma acessível e barata permite também detetar o movimento do paciente, o que permite a sua utilização em fisioterapia.

## 3.2 Detecção de Movimento

Sistemas de rastreamento de movimento humano são sistemas que geram dados em tempo real que representam de forma dinâmica as mudanças da pose de um corpo humano (ou parte dela), com base em sensores de movimento [49].

Existem diversas maneiras de se realizar a deteção de movimento como se pode observar na figura 3.5 e na Tabela 3.3.

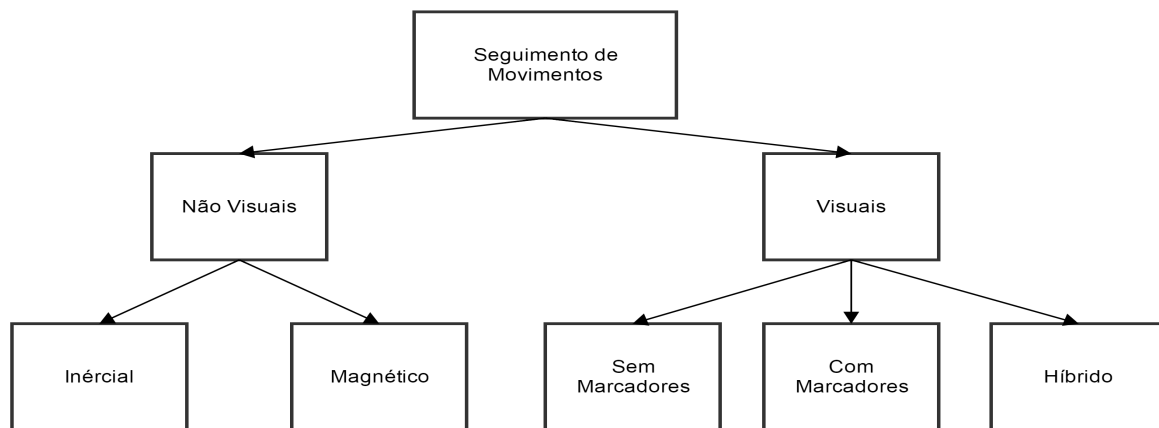


Figura 3.5: Classificação dos sistemas de detecção do movimento [49].

### 3.2.1 Não Visuais

Os sensores utilizados nesses sistemas aderem ao corpo do paciente a fim de recolher informações relativas ao movimento. Os sensores são geralmente classificados como mecânicos, inerciais e acústicos.

Alguns desses sistemas conseguem detetar variações muito ligeiras de amplitude, como movimentos de um braço até o movimento de um pé. De um modo geral, cada tipo de sensor tem as suas próprias vantagens e limitações.

1. **Inercial:** Sensores inerciais, como acelerômetros e giroscópios têm sido frequentemente utilizados na navegação e realidade aumentada uma vez que são fáceis de usar e baratos.

Os sensores podem ser de alta sensibilidade e permitem grandes áreas de captura. No entanto, a posição não pode ser corretamente determinada devido a ruídos de medição que levam a um fenómeno chamado *integration drift*. Este fenómeno ocorre uma vez que os pequenos erros obtidos por estes sensores são integrados em erros maiores na velocidade (no caso do acelerómetro), o que leva a erros ainda maiores na posição.

Tabela 3.3: Comparação dos diferentes sistemas de detecção do movimento de acordo com a figura 3.5 [49]

Sistema	Precisão	Dificuldade Computacional	Custo	Desvantagens
Inercial	Elevado	Eficiente	Baixo	Desvios
Magnético	Médio	Eficiente	Baixo	Materiais Ferromagnéticos
Sem marcadores	Elevado	Insuficiente	Médio	Oclusão
Com marcadores	Elevado	Insuficiente	Baixo	Oclusão
Híbridos	Elevado	Insuficiente	Elevado	Multidisciplinar

Os acelerômetros normalmente desempenham um grande papel se só é necessário obter informações de aceleração [49] e não de velocidade ou posição.

2. **Magnéticos:** Sistemas Magnéticos têm sido universalmente utilizados para rastreamento de utilizadores devido ao seu tamanho, elevada taxa de refrescamento e por não existir oclusão como nos sistemas de rastreamento visuais. Mesmo tendo grande sucesso, estes sistemas tem fraquezas inerentes como latência e *jitter*.

A latência surge devido à natureza assíncrona em que as medições do sensor são conduzidas enquanto o *jitter* aparece com a presença de dispositivos constituídos por ferro, dispositivos eletrónicos ou ruído nas medições [49].

### 3.2.2 Visuais

A detecção de movimento é normalmente realizada usando sistemas com sensores visuais (ex: câmaras) que sejam assistidos com marcadores visuais colocados no corpo ou sem marcadores (Kinect).

A noção de seguimento visual do movimento humano é usado de forma diversificada na literatura, no entanto a sua definição consiste em dois processos [50]:

1. Segmentação *Foreground - Background*: Processo de separação dos objetos de interesse (humanos) do resto da imagem (Fundo). Métodos de segmentação *Foreground - Background* são muitas vezes aplicados como o primeiro passo em muitos sistemas e como um processo crucial.
2. Correspondência temporal: Processo de associar os utilizadores detetados na frame atual com as frames anteriores, fornecendo uma trajetória temporal através do espaço.

Os sistemas de detecção de movimento visuais podem ser divididos em dois grupos:

#### 1. Sistemas de Detecção de movimento baseado em marcadores

Sistemas de rastreamento visuais tipicamente utilizam pequenos marcadores colocados no corpo do utilizador e um conjunto de duas ou mais câmaras focadas no sujeito de forma a capturar o seu movimento. Um programa de processamento deteta o marcador capturado pelas câmaras, e através de uma combinação da informação em 2D, calcula a posição em 3D do marcador através do tempo.

A grande limitação destes sistemas de rastreamento é na unidade de processamento que permite detetar a posição atual dos marcadores uma vez que o seguimento do marcador pode-se perder por instantes curtos de tempo, o software de processamento pode não detetar a posição do marcador ou então o marcador pode não ficar fotografado nas imagens (obstrução). Para resolver o primeiro problema deve-se utilizar um software de rastreamento apropriado enquanto que para o segundo problema é aconselhável utilizar múltiplas câmaras para capturar o movimento e para prevenir perder o marcador [51].

Hoje em dia existem vários sistemas de seguimento com marcadores disponíveis a nível comercial, como por exemplo o Meta motion ou o Vicon [2], onde são colocados marcadores óticos ou magnéticos ao utilizador e utiliza-se um método de triangulação nas posições dos marcadores para se obter o seguimento. Mesmo que estes produtos consigam bons resultados, estes são invasivos e difíceis de usar [52]. Estes sistemas podem ser divididos em sistemas activos ou passivos, dependendo se os marcadores são ativos ou passivos [53] (ver figura 3.6):

- (a) Sistemas baseados em marcadores ativos utilizam um conjunto de diodos emissores de luz (LED) ligados ao corpo do utilizador.
- (b) Sistemas baseados em marcados passivos utilizam luz infravermelha e marcadores refletores.

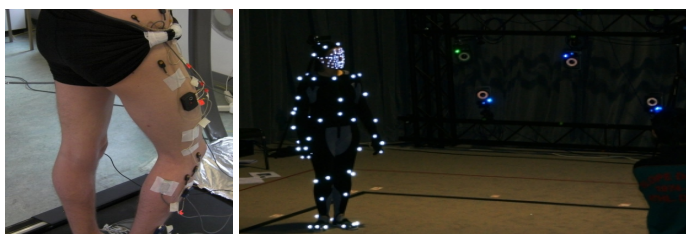


Figura 3.6: a) Utilizador com sistema ativo<sup>3</sup> b) Utilizador com sistema passivo (Vicon)<sup>4</sup>

## 2. Sistemas de Detecção de Movimento sem Marcadores

### (a) Sistemas de Seguimento Humano 2D

As abordagens destes sistemas é utilizar um modelo do corpo humano para comparar com os dados da imagem obtida e utilizar o conhecimento do movimento em 2D.

O modelo do corpo humano utilizado é o esqueleto (forma de representação mais simples do corpo humano) que consiste em segmentos de linha ligadas através das articulações, como se pode observar na figura 3.7 [54].

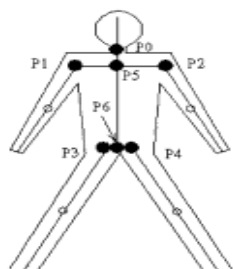


Figura 3.7: Modelo 2-D do corpo humano [2]

<sup>17</sup><http://www.wizdish.com/clinical-tests/>

<sup>18</sup><http://www.vicon.com/system/kits>

Algumas tentativas de segmentar e seguir o corpo humano sobre condições mais gerais foram feitas por Akita [55] e tinham como premissa que o movimento do ser humano é conhecido a priori na forma de um conjunto de figuras representativas de poses humanas, *key frames*. Este conjunto de figuras iria ajudar quando o seguimento falhasse. O conjunto de figuras continham os elementos pernas, cabeça, braços e tronco, e um modelo de um cone para se utilizar nas partes irregulares do corpo.

Outra forma de realizar a análise do movimento humano pode passar por ignorar a forma e por descrever o movimento humano em termos das características 2-D de uma região de interesse. Tal é possível através da segmentação do movimento, normalização no espaço e no tempo e reconhecimento através de uma comparação com um modelo espaço-temporal de características de movimento [56]. Para aplicações que envolvam o ser humano, a região de interesse é normalmente obtida através de um processo de subtração de fundo ou detecção da cor de pele seguidos de operações morfológicas para remover ruído.

Outras abordagens [57] apresentam uma detecção de um objeto treinado para detetar pessoas, onde o sistema aprende com os exemplos e não confia em nenhum modelo a priori graças a um *template wavelet* que define a forma de um objeto em termos de um subconjunto dos coeficientes *wavelet* da transformada da imagem (ver figura 3.8).

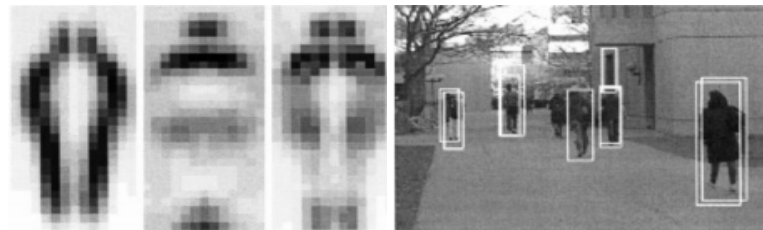


Figura 3.8: Detecção frontal e traseira: a) As características com coeficientes *wavelet*: vertical, horizontal, canto b) resultados de detecção com um classificador SVM [54]

### (b) Sistemas de Seguimento Humano 3D

Abordagens 2D têm várias restrições devido ao seu ângulo de visão. No entanto a utilização de técnicas 3D para a identificação de movimento humano tem a vantagem do conhecimento disponível a priori sobre as propriedades cinemáticas e a forma do corpo humano. Vários algoritmos de rastreamento 3D baseados em sequências de imagens em 2D têm sido criados, mas dependem de modelos 3D detalhados das articulações que requerem significativamente mais graus de liberdade.

Para além destes métodos, é possível fazer seguimento 3D de um objeto utilizando várias câmaras. Um dos métodos desenvolvidos [58] consiste na utilização de 16 câmaras (todas com resolução  $640 \times 480$  pixels) para obter a representação em 3D de uma pessoa. A forma de uma pessoa pode ser obtida com a aproximação local convexa do volume ocupado pelo objeto. A construção da forma final consiste na projecção da



silhueta de cada plano da câmara sendo o resultado da intersecção em 3D a forma visual da pessoa como se pode observar na Figura 3.9.

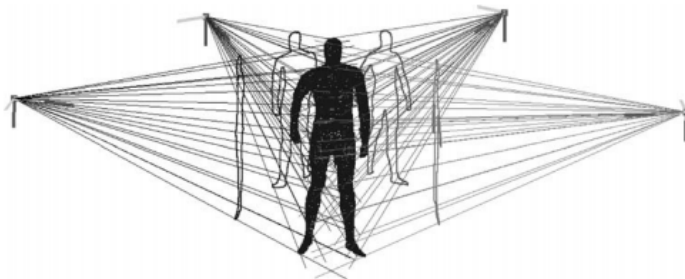


Figura 3.9: Conceito de Reconstrução da forma do objeto. As silhuetas do sujeito obtidas por câmeras diferentes são projetadas no espaço e a sua interceção gera uma forma (aproximação local convexa do volume ocupado pelo sujeito) [58]

Existem muitos sistemas de detecção e rastreamento de pessoas utilizando ou câmeras RGB ou sensores 3D. No entanto a necessidade de robustez e de um sistema em tempo real levou a fazer face a estes problemas combinando os dados da imagem com a informação de profundidade [59]. Embora ambas as formas de rastreamento tenham vantagens e desvantagens, a sua distinção pode tornar-se obsoleta com a disponibilidade de sensores RGB-D que fornecem, de uma forma confiável, dados de imagem e de profundidade [60].

### 3.3 Câmeras RGB-D

As câmeras RGB-D tem sido recentemente introduzidas em grande escala no mercado, essencialmente impulsionado por jogos e aplicações de computador e entretenimento. Estas câmeras funcionam como sistemas que capturam imagens RGB, juntamente com informações de profundidade. Dispositivos RGB-D têm grande potencial, mas o sistema de aquisição é limitada pela sua resolução de captura [61].

Estas câmeras permitem estimar a informação de profundidade do pixel [62], com exceção de pontos sem informação de profundidade, como se pode observar na Figura 3.10, os pontos brancos representam pontos sem informação de profundidade. Estes pontos podem ocorrer ou porque o objeto está demasiado longe do sensor ou devido a oclusão do objeto.

Estes sensores combinam a informação obtida de cor com a informação de profundidade e permitem obter uma reconstrução em 3D. Para além disso, muitas câmeras RGB-D disponíveis, como o Microsoft Kinect são adequadas para aplicações biomédicas uma vez que são práticas, transportáveis de fácil instalação e permitem gravar e guardar os dados num computador [64].

Mesmo existindo várias metodologias para a monitorização dos movimentos com resultados semelhantes ao da Kinect, estas no entanto, a fim de garantir medições precisas, usam sensores intrusivos ou marcadores colados às articulações, o que é desagradável ao utilizador [65].



Figura 3.10: Sensor de profundidade [63]

### 3.3.1 Kinect

O Microsoft Kinect é um sensor de movimentos desenvolvido para o Xbox 360 e Xbox One, pela empresa Prime Sense. O Kinect criou uma nova tecnologia capaz de permitir aos jogadores interagir com os jogos sem a necessidade de ter nas mãos um controlo.

Neste momento existem duas versões do hardware da Microsoft Kinect:

#### 1. Microsoft Kinect 1.0 Sensor

- Projetor Infravermelho
- Câmera de vídeo VGA colorida: com resolução máxima de  $1600 \times 1200$  pixels.
- Câmera Infravermelha: utiliza um sensor CMOS monocromático, que é capaz de converter a luz refletida em elétrons.

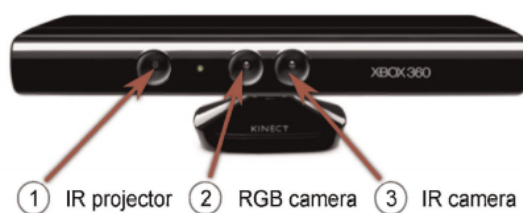


Figura 3.11: Componentes do Hardware da Microsoft Kinect [64]

O sensor de profundidade consiste no Projector e na Câmera Infravermelha. O funcionamento da Kinect consiste na emissão de um padrão infravermelho, como se pode observar na Figura 3.12, que é recebido pela câmara CMOS e é aplicado um filtro para passar apenas a banda infravermelha. O processador interno mede a diferença entre a imagem capturada e o padrão enviado. É então calculado o deslocamento de cada pixel através de um procedimento de correlação e é obtida uma imagem de dispersão que permite à Kinect calcular a distância do dispositivo a qualquer ponto da imagem [66].

A imagem de profundidade obtida pela câmera infravermelha tem um resolução máxima de  $640 \times 480$  pixels com 11 bits cada pixel, o que fornece 2048 níveis de sensibilidade. A qualidade desta imagem pode ser afetada pelas condições da luz. Um dos problemas recorrentes está relacionado com a criação de sombras devido à distância do projetor (iluminador) e da câmera IR. Esta sombra não permite o sensor estimar a profundidade naquela área.

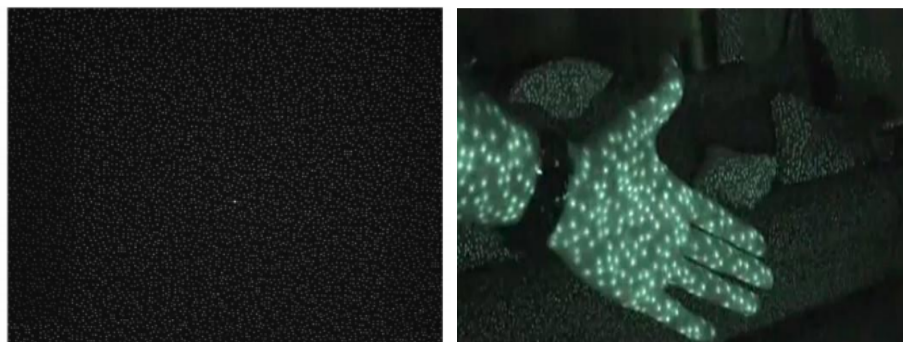


Figura 3.12: a) Padrão infravermelho emitido pelo dispositivo[66] b) Projeção de luz infravermelha nos objetos de uma cena<sup>5</sup>

## 2. Microsoft Kinect 2.0 Sensor

Nesta segunda versão a profundidade é obtida através de uma câmera Time Of Flight (TOF). Esta câmera tem um funcionamento análogo ao sonar, que consiste na emissão de um som (pulso) e na medição do tempo que o som demora a refletir num objeto e a regressar. Estas câmeras obtêm a distância com base na quantidade de tempo que a luz demora a percorrer o caminho do sistema até ao objeto e depois de volta ao sistema. A diferença destas câmaras é que cada "pixel" tem um recetor independente que analisa a luz refletida e mede quanto tempo se passou entre a emissão do feixe de luz no meio envolvente e a sua receção. Dependendo da distância, a luz refletida pode sofrer atrasos. Este sistema tem como vantagens a simplicidade, eficiência do cálculo da distância e a velocidade, no entanto tem como desvantagens a interferência de vibrações, luz de fundo e múltiplas reflexões que possam ocorrer no feixe de luz [67].

Contudo em ambas as versões os dois sensores trabalham em conjunto para obter a informação em 3D. Mesmo que o ambiente não possua iluminação, o Kinect, consegue distinguir as distâncias entre os objetos, o volume e a movimentação de cada um através da integração dos dois sensores a uma taxa de 30 vezes por segundo.

A grande inovação por detrás do Kinect consiste na técnica de *Skeleton Tracking*. O conceito de *Skeleton Tracking* consiste em idealmente conseguir detetar o movimento de qualquer pessoa, em qualquer lugar, sem qualquer calibração.

---

<sup>5</sup>[www.morphy.com.br/category/labs/](http://www.morphy.com.br/category/labs/)

A representação de um corpo é feita através de um número de articulações que representam partes do corpo como a cabeça, pescoço ou ombros (ver figura 3.13). Cada articulação é representada por coordenadas 3D e tem como objetivo determinar todos os parâmetros 3D dessas articulações em tempo real para permitir a interatividade fluente através de limitados recursos.

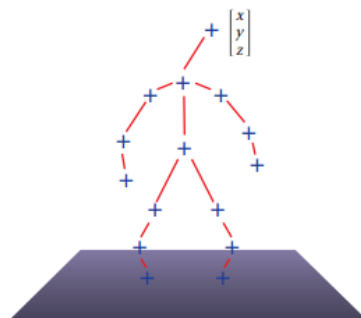


Figura 3.13: Representação de um esqueleto representativo das várias partes do corpo [63]

O algoritmo utilizado pelo Microsoft Kinect para detecção do esqueleto consiste em três etapas (ver figura 3.14):

1. Realização pixel a pixel da detecção e classificação das partes do corpo.
2. Previsão das posições das articulações do corpo encontrando um centroíde global de massa através do deslocamento médio.
3. Mapear as articulações hipotéticas para as articulações do esqueleto e encaixar num esqueleto tendo em consideração a continuidade temporal e o conhecimento a priori do esqueleto humano.

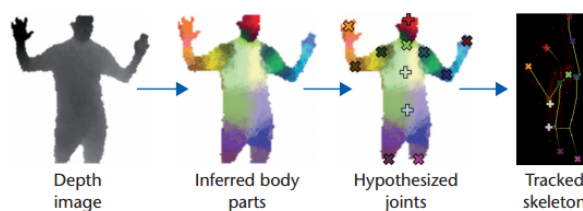


Figura 3.14: As etapas de rastreamento do esqueleto pela Kinect. a) Imagem de profundidade b) Detecção pixel a pixel partes do corpo c) Estipular a posição das articulações d) obtenção do esqueleto [63]

Desta forma o Kinect surge como uma alternativa à fisioterapia tradicional, dado que este sistema é portátil e é relativamente barato em relação a sistemas semelhantes, apresenta-se como uma boa solução. Alguns estudos recentes fizeram uma análise profunda da captação de movimentos específicos com o Kinect e com um sistema de câmaras 3D, sendo que os resultados obtidos com

o Kinect foram bastante positivos e comprovando a qualidade deste sistema na captação de movimentos [68]. Como se pode observar na Figura 3.15 é possível obter uma detecção do movimento semelhante a um sistema de câmeras 3D utilizando o Microsoft Kinect.

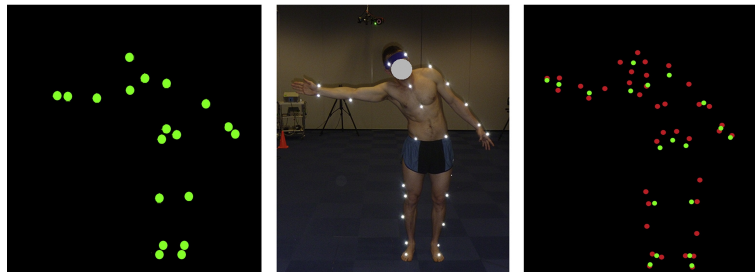


Figura 3.15: a) Movimento detetado com o Kinect b) Movimento do utilizador c) Movimento detetado com um sistema de câmaras 3D [68].

### 3.4 Avaliação do Movimento do Membro

A avaliação do estado funcional após o tratamento do cancro de mama tem-se concentrado na detecção do linfedema [33]. Um estudo realizado em 2003 [69] sobre a morbidez da parte superior do corpo e a qualidade de vida do paciente demonstrou que restrições nos membros superiores é a maior fonte de decréscimo na qualidade de vida de um paciente depois do tratamento contra o cancro. Desta forma deveria ser dada mais atenção a outros aspetos de morbidez, como limitações na amplitude dos movimentos [2].

Pelo que é necessário um método objetivo, reproduzível e de baixo custo que consiga avaliar o movimento dos membros superiores depois do tratamento para cancro.

#### 3.4.1 Métodos Subjetivos na Avaliação do Movimento dos Membros Superiores

Normalmente a avaliação do movimento dos membros superiores é feita através de medidas subjetivas dos pacientes [70]. Deste modo, múltiplos questionários foram desenvolvidos para obter os efeitos do ferimento na funcionalidade da parte superior do corpo [2].

<sup>1</sup>*Patient-Specific Functional Scale (PSFS)* foi desenvolvido como uma medida clínica de limitações funcionais relacionadas com o efeito de um tratamento. Os pacientes são convidados a identificar até 5 atividades de vida diária que são incapazes de realizar ou que estão a ter dificuldade como consequência do tratamento. Itens são classificados de acordo com o nível atual de dificuldade e permitem fornecer uma comparação de desempenho do nível de atividades ao longo do tempo.

<sup>2</sup>*Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand (DASH)* foi criado para medir as funcionalidades físicas e sintomas em pacientes com qualquer desordem que afete as extremidades superiores. Este formulário cobre sintomas como dor, fraqueza, entorpecimento e o grau de dificuldade em executar atividades

Tabela 3.4: Escalas subjetivas utilizadas para avaliar a dor nos membros superiores de pacientes com cancro de mama.

Escala	Tipo de Medida	Descrição	Interpretação Clínica
PSFS <sup>1</sup> [71]	Medida clínica de funcionalidade	Itens: 3; Escala: 10 pontos	Quanto mais alta a pontuação melhor o resultado
DASH <sup>2</sup> [72]	Dor relacionada com a incapacidade dos membros superiores	Itens:30; Escala:5 pontos	Quanto mais baixa a pontuação melhor
UEFI <sup>3</sup> [73]	Funcionalidade dos membros superiores	Itens:20; Escala: 5 pontos	Quanto mais alta a pontuação melhor o resultado

<sup>3</sup>O *Upper Extremity Functional Index* (UEFI) tem como objetivo avaliar o estado e funcionalidade das extremidades superiores em várias atividades, enquanto que o <sup>4</sup> *Arm Problem Scale* (KAPS) foi desenvolvido para identificar problemas no braço e ombro em pacientes com cancro da mama.

Alguns questionários também são uteis para avaliar a qualidade de vida de sobreviventes do cancro da mama, como por exemplo o <sup>5</sup> *Assessment of Cancer Therapy-Breast* (FACT-B).

### 3.4.2 Métodos Objetivos na Avaliação do Movimento dos Membros Superiores

Com o objetivo de avaliar as limitações das extremidades superiores existem vários métodos que incluem testes de flexibilidade, força e resistência. O método mais comum, para pacientes com cancro, é a goniometria [33] [76]. Este método é usado para avaliar a amplitude de movimento passiva e ativa do ombro. Através da comparação das medidas entre o membro afetado e não afetado é possível determinar se existem restrições de mobilidade do ombro. Os movimentos analisados são normalmente: extensão, flexão, abdução, adução, rotação interna e rotação externa (ver figura 3.16).

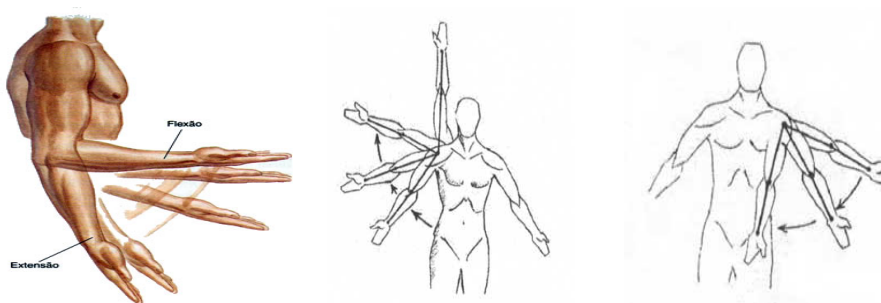


Figura 3.16: a)Flexão/Extensão b) Abdução c) Adução

KAPS <sup>4</sup> [74]	Sintomas e funcionalidade dos membros superiores	Itens:13; Escala: 5 pontos	Quanto mais alta for a pontuação, mais sintomas são detetados e menos funcionalidades são executadas
FACT-B <sup>5</sup> [75]	Qualidade de vida em doentes com cancro	Itens:36; Escala: 5 pontos	Quanto mais alta a pontuação melhor a qualidade de vida

Outras abordagens podem incluir a avaliação de força e resistência através do uso de um dinamómetro. Este método consiste em pedir aos pacientes para realizarem um conjunto de repetições, com 15 segundos de descanso entre eles, utilizando o dinamómetro [77] (ver figura 3.17).



Figura 3.17: Dinamómetro <sup>6</sup>

Para além da flexibilidade e da força existem outros métodos que permitem testar a velocidade e a exatidão do movimento. Por exemplo, o método *Box and Blok* é usado para medir a destreza manual unilateral bruta fazendo o paciente mover o número máximo de blocos de um compartimento para o outro dentro de 1 minuto. Por outro lado, o método *Nine-hole Peg Test* é usado para avaliar a destreza dos membros superiores, fazendo o paciente inserir 9 pinos dentro de um compartimento e depois retirá-los no mínimo tempo possível [78]. Contudo, estes métodos e outros semelhantes, não foram testados para pacientes com cancro da mama pelo que não se sabe a utilidade neste contexto [2].

### 3.5 Jogos Sérios

Um jogo representa uma atividade lúdica que engloba um conjunto de várias componentes. Entre elas há três obrigatórias:

1. Jogador: um ou mais elementos que procuram diversão partilhando ou disputando objetivos;
2. Regras: definem o modo de como se deve jogar;

<sup>6</sup><http://iapesensino.blogspot.pt/2014/05/hand-on-fisioterapia-intensiva-em-manaus.html>



3. Objetivos: conjunto de elementos que os jogadores tentam alcançar.

O jogo tem a capacidade de incutir no jogador a vontade de superar o desafio superando o(s) adversários(s) ou superando-se a si mesmo. É por isso uma atividade que além de divertida, é por vezes viciante sendo um grande foco de atenção para os jogadores [79].

Hoje em dia, o termo "jogos sérios" está a tornar-se cada vez mais popular. No entanto não existe uma definição única do conceito. O jogo está associado a diversão e ao lazer, contudo um jogo pode ser utilizado para fins mais lúdicos. Associando entretenimento à educação, podem-se criar jogos divertidos que captam a atenção do jogador e que ao mesmo tempo transmitem conhecimento – jogos sérios [80].

De acordo com Corti [81] jogos sérios "é tudo sobre aproveitar as funcionalidades de jogos de computador para cativar e envolver os jogadores para uma finalidade específica, como para desenvolver novos conhecimentos e habilidades".

Na área da saúde, existe sempre a necessidade de inovar com a finalidade de melhorar o estilo de vida da sociedade. Deste modo, a fisioterapia pode ser definida como uma ciência aplicada ao estudo, diagnóstico, prevenção e tratamento. Para os fisioterapeutas, a tecnologia tem um papel fundamental no aperfeiçoamento do tratamento fisioterapêutico uma vez que permite uma avaliação dos movimentos e exercícios realizados pelos pacientes na comodidade da sua casa, possibilitando um tratamento mais eficaz e personalizado [82].

A maioria dos jogos sérios utilizados na reabilitação não evoluem acima do estado de testes do protótipo com alguns pacientes ou indivíduos saudáveis. O fluxo de trabalho destes jogos passa por 5 etapas [83]:

1. calibração
2. configuração do jogo
3. jogabilidade
4. *feedback* do paciente
5. avaliação médica

Poucos são os sistemas que conseguem completar este fluxo, contudo os 3 sistemas a seguir apresentados conseguiram-no fazer, assim como obter resultados bastante animadores, que comprovam a validade do Kinect como uma ferramenta a utilizar na reabilitação de pacientes:

#### 1. **Jogo Sério para pacientes com paralisia cerebral (Kinerehab)**

Este sistema de reabilitação foi utilizado para prevenir a atrofia dos músculos em pacientes com paralisia cerebral e permite ao mesmo tempo ensinar a realizar as tarefas diárias como escovar os dentes ou o cabelo.

O sistema é constituído pelo Microsoft Kinect, uma base de dados e instruções de utilização do jogo em vídeo e voz. Contudo, os resultados obtidos tiveram apenas uma eficiência de



80% na detecção do movimento, uma vez que os utilizadores utilizavam cadeira de rodas e isso levou a erros de rastreamento do Kinect. Contudo, os utilizadores e os fisioterapeutas ficaram extremamente interessados no sistema [84].

## 2. **Jogo Sérió para reabilitação de doentes crónicos [83]**

Uma doença crónica é definida como sendo uma doença que não é resolvida num tempo curto. Normalmente são doenças que não põem em risco a vida da pessoa num prazo curto, logo não são emergências médicas. No entanto, elas podem ser extremamente sérias, e várias doenças crónicas, como por exemplo certos tipos de cancro podem causar a morte do doente. As doenças crónicas incluem também todas as condições em que um sintoma existe continuamente, e mesmo não pondo em risco a saúde física da pessoa, são extremamente incómodas e levam a uma diminuição da qualidade de vida. Deste modo foi realizado um jogo sério com o intuito de melhorar a qualidade de vida de um doente crónico.

De modo a suportar diversas formas de aquisição de imagem, este jogo está preparado para duas formas diferentes de captação de movimento:

### (a) Sistema de Detecção de Movimento:

Este sistema faz a detecção do movimento (MoCap) através de marcadores passivos. O rastreador utilizado neste sistema de captura de movimento é um iotracker, que é um marcador passivo baseado num sistema de rastreamento infravermelho.

São utilizadas câmaras Iotracker para a aquisição da imagem. Estas câmaras estão sincronizadas e tem uma frequência de aquisição de 60Hz. Para fazer com que (apenas) os marcadores passivos sejam visíveis nas imagens da câmara, estas são equipadas com luzes estroboscópicas de infravermelho e filtros de passagem de banda ótica.

As medições obtidas tem uma baixa latência (20-40ms), *jitter* mínimo (RMS menos de 0,05 mm) e uma precisão absoluta de +/- 0.5 cm.

### (b) Kinect:

O jogo tem também integrado o Kinect como sistema de aquisição (MoCap) de baixo custo. Ao contrário do sistema anterior, o Kinect apenas usa uma câmara para rastreamento e funciona sem marcadores.

Para além do sistema de aquisição (Mocap), o sistema utiliza ainda dados obtidos através de um electromiograma (EMG).

Os jogos criados destinam-se a doentes crónicos com dores de pescoço ou na parte inferior das costas e consistem em 3 pequenos jogos cada um com o seu objetivo:

Tabela 3.5: Descrição dos jogos criados [83]

Nome do Jogo	Descrição	Objetivo	Dados necessários
Temple of Magupta	O jogador corre até um antigo templo, colecciona artefactos e evita obstáculos	Reacondicionamento físico, aumento velocidade e tempo de caminhada	Taxa de movimento
Face of Chronos	O paciente sobe uma montanha estendendo os braços para cima até chegar a paragem seguinte	Aumento da capacidade, velocidade e suavidade do movimento e o relaxamento do músculo trapézio	Posição da mão, características do movimento da mão (velocidade, distância), atividade muscular do músculo esquerdo e direito do trapézio
Three Wind Gods	O jogador imita movimentos de cabeça reproduzidos por personagens fictícias	Aumento da amplitude, velocidade e suavidade do movimento cervical	Medidas de Amplitude do movimento cervical e atual rotação (flexão/extensão, direita/esquerda), velocidade do movimento, aceleração do movimento



Figura 3.18: Sistema de captação de movimento e dois dos jogos durante os testes preliminares.

Depois de testado os três mini jogos com os dois sistemas foi possível concluir que em geral o Kinect funciona surpreendentemente bem como um sistema alternativo à captura de movimento (MoCap) usado para controlar os jogos. Os testes realizados mostraram que captura corretamente a maior parte dos movimentos realizados. Dois dos mini-jogos foram jogáveis, embora com algumas restrições. No entanto, não se conseguiu medir todos os parâmetros e carece da precisão exigida.

### 3. Jogos Sérios para pacientes com Linfedema

Este jogo foi desenvolvido para pacientes com linfedema. A Tabela 3.6 demonstra a melhoria da amplitude de movimento do membro afetado de uma paciente depois de realizar 10 sessões de fisioterapia com um jogo sério e com o auxílio do Kinect como ferramenta de deteção de movimento. Para além disso, conclui-se que os resultados obtidos na escala

numérica de dor, responsável por avaliar a intensidade da sensação dolorosa, mostrou uma redução de 85% após o tratamento [85].

Tabela 3.6: Comparação do movimento do braço de uma paciente antes e depois de 10 sessões de fisioterapia com o jogo [85]

Movimento	Antes	Após	Melhoria Percentual
Flexão	140°	160°	14,2%
Extensão	30°	40°	33,3%
Abdução	100°	160°	60%
Adução	10°	20°	100%

### 3.6 Conclusão

Hoje em dia, quando o cancro da mama é diagnosticado numa fase inicial, são utilizados recursos mais conservativos de modo a preservar a mama e melhorar a qualidade de vida. Contudo, a maior parte das pacientes apresenta células cancerígenas nos nós linfáticos da axila que necessitam de ser removidos através da Dissecção de nós linfáticos na axila (ALND), o que significa uma danificação do sistema linfático que pode levar a comorbidades que provocam deficiências comuns e limitações funcionais, como restrição de movimento do ombro, dor, fadiga, linfedema e depressão, dificultando a realização das atividades diárias e agravando a qualidade de vida [86].

Tradicionalmente a medição do volume do membro para deteção de linfedema é feita através de metodologias como o deslocamento de água ou através de medidas das circunferências do membro, contudo estes métodos são pouco práticos e de baixa precisão. De modo a ultrapassar estas limitações, alguns investigadores utilizaram tecnologias mais avançadas para medir o membro do paciente, contudo estes métodos tornavam-se complexos e caros.

Por outro lado existem formas de avaliar o movimento do membro através de questionários subjetivos. Mesmo tendo grandes limitações estes questionários permitem fornecer informação importante sobre o estado do paciente e como tal, podem ser úteis na validação dos resultados que se irão obter com esta pesquisa. Para além destes questionários, existem outros métodos, como a goniometria, que permitem verificar a flexibilidade e a força do membro.

Os sistemas de deteção de movimento analisados mostraram que é possível obter em tempo real a representação do movimento humano e que são uma promissora ferramenta a utilizar na reabilitação de pacientes. Dos sistemas analisados foi dado destaque aos sistemas RGB-D uma vez que permitiam de uma forma não intrusiva e sem marcadores obter com robustez a imagem e a profundidade dos objetos permitindo assim uma reconstrução em 3D. Sendo o Kinect um sistema RGB-D barato e acessível surge assim como uma ferramenta útil no campo da reabilitação através dos jogos sérios.

Depois do tratamento ao cancro da mama é recomendado um conjunto de exercícios que as pacientes deverão realizar em casa, de forma a evitar possíveis futuros danos nos membros. Contudo, não existe um seguimento correto dos cuidados que se deveriam ter e os exercícios acabam por ser mal realizados. Desta forma é necessário uma ferramenta na reabilitação que permita uma sessão de exercícios adequada e que motive as pacientes a realiza-los.

Os avanços tecnológicos que combinam robótica e computação gráfica, tem vindo a ganhar relevo no entretenimento e saúde. Neste contexto, a realidade virtual tem vindo a criar protocolos de reabilitação, onde o paciente interage com ambientes 3D simulados por computador [87] [88]. Pelo que foram analisados três sistemas de realidade virtual que utilizaram como ferramenta de aquisição de dados o Kinect, e onde se verificou o seu sucesso em relação a outros sistemas de aquisição, assim como os bons resultados atingidos por pacientes que utilizaram estes três sistemas.

Desta forma conclui-se que um programa de reabilitação em casa, e com aquisição de dados do Kinect para pacientes operadas ao cancro da mama, é recomendado.



## Capítulo 4

# Metodologia

No Capítulo 2 discutiu-se as consequências dos tratamentos do cancro da mama no membro afetado das pacientes. Após o procedimento cirúrgico é normal que as pacientes tenham uma diminuição da força muscular, o que traduz-se numa diminuição da amplitude dos movimentos de abdução/adução horizontal e flexão (ver tabela 4.1) o que pode limitar a sua qualidade de vida. Além disso, na revisão da literatura, verificou-se a falta de uma ferramenta da prática clínica que permita reabilitar o membro. Portanto, um dos principais objetivos desta investigação foi o desenvolvimento de um método de reabilitação através da utilização do Kinect. A escolha do Kinect recaiu no facto deste ser barato, fácil de utilizar e poder ser usado tanto em casa como num ambiente clínico (o que facilita a reabilitação visto que permite a repetição dos exercícios fora das sessões de terapia).

Tabela 4.1: Comparação da amplitude de movimento do ombro entre o lado homolateral e contralateral à cirurgia [89].

	Lado homolateral à cirurgia	Lado contralateral à cirurgia
Flexão do ombro	145.00° +/- 21.94°	151.75° +/-25.35°
Adução do ombro	33.38° +/- 14.87°	37.88+/-15.03°
Abdução do ombro	127.13° +/- 36.68°	140.63+/-28.49°

Como se pode observar na Tabela 4.1, as pacientes perdem mobilidade no braço do lado em que foram operadas (homolateral). Isto é visível através da comparação com os resultados obtidos do braço do lado oposto (contralateral). Em todos os movimentos verifica-se que o lado contralateral obteve melhores resultados (ângulos maiores representam uma maior abertura de movimento).

Para além das mazelas físicas e estéticas que o linfedema provoca é de realçar os prejuízos que também trazem na vida diária das pacientes. Como se pode observar na Tabela 4.2, muitas pacientes deixam de desempenhar tarefas que realizavam antes do tratamento ao cancro da mama.

A Tabela 4.2 representa os resultados ao questionário *Frenchay Index Activities*. Este questionário pretende observar a frequência com que uma atividade é realizada, através de uma pontuação de 1 a 4, onde 1 corresponde ao nível mais baixo.

Tabela 4.2: Avaliação das atividades de vida diária por meio do questionário Frenchay Index Activities [89].

	Antes	Depois
Preparar comida	4+/-0	3.7+/-0.57
Tarefas domésticas de lida de casa	3.7 +/- 0.92	2.05 +/- 0.94
Lavar roupa	3.8 +/- 0.61	2.15 +/- 0.98
Excursões/saídas sociais	2.9 +/- 1.16	2.60 +/- 1.14
Andar fora de casa mais de 15 minutos	3.60 +/- 0.82	3.45 +/- 1.14

## 4.1 Jogo 1

Observando as Tabelas 4.1 e 4.2 podemos concluir que existe a necessidade de um jogo que permita reabilitar as pacientes e ao mesmo tempo as prepare para as atividades diárias.

O primeiro jogo foi idealizado para pacientes do sexo feminino e com idades compreendidas entre os 40 e os 75 anos. Uma vez que o público alvo tem muitas dificuldades a interagir com computadores foi desenvolvido um jogo que fosse de simples compreensão e fornecesse toda a informação necessária ao jogador.

O jogo tem o intuito de recriar a tarefa doméstica de passar a ferro. A escolha da tarefa recaiu no facto de muitas pacientes deixarem de realizar esta tarefa, porque perdem a mobilidade do membro. Esta tarefa permite realizar o movimento de abdução/adução horizontal. Este movimento é utilizado diversas vezes em sessões de fisioterapia.

O jogo tem uma duração de 1 minuto, pois pretende-se que as pacientes não se esforcem em demasia. A aplicação realiza uma avaliação em tempo real dos movimentos executados e retorna-a ao jogador, de modo a que este possa corrigir possíveis erros de execução.

### 4.1.1 Componentes do Jogo

O primeiro jogo consiste em passar a ferro realizando os movimentos de adução e abdução horizontal. Estes movimentos consistem em esticar o braço de forma a ficar perpendicular com o tronco do jogador e depois deslocar este, o máximo possível, para a esquerda e para a direita (ver figura 4.1).



Figura 4.1: Jogo 1: Movimento de Abdução/Adução

De modo a tornar a experiência mais realista e mais divertida para o jogador o fundo do jogo é uma sala de estar típica com uma tábua de passar a ferro e um ferro em cima desta. Para além destes componentes do jogo, existem outros componentes que podem fornecer *feedback* ao jogador:

1. **Candeeiro:** O candeeiro fornece informações sobre os dados do esqueleto obtidos pelo Kinect segundo um esquema de cores (ver figura 4.2).
  - a) O candeeiro azul representa a não deteção do Microsoft Kinect ligado ao computador.
  - b) O candeeiro esbranquiçado indica que a aplicação está a receber os dados de imagem da Kinect, no entanto não é detetado qualquer esqueleto.
  - c) O candeeiro amarelo significa a deteção de um esqueleto, pelo que a aplicação tem todas as condições que necessita e o jogo inicia, após 3 segundos, automaticamente.



Figura 4.2: Jogo 1: Esquema de cores do candeeiro

2. **Ferro:** Elemento fundamental no jogo, o jogador tem de controlar o ferro para pontuar. Caso o jogador não o esteja a controlar, ou por estar a demorar demasiado tempo a tentar agarrar ou devido a ter perdido o controlo deste, o jogador é avisado através duma pequena animação que simula um pequeno incêndio à volta do ferro (ver figura 4.3).
3. **Mão:** O objetivo deste jogo é simular o movimento de passar a ferro, pelo que irá aparecer na interface uma figura de uma mão que indica a posição desta na aplicação. Para controlar o ferro é necessário inicialmente agarrar este, como tal é necessário o jogador simular o





Figura 4.3: Jogo 1: a) Ferro b) Início de fogo

movimento de agarrar. A imagem da mão do jogador na aplicação pode aparecer aberta ou fechada consoante o jogador tenha simulado abrir ou fechar a mão (ver figura 4.4).



Figura 4.4: Jogo 1: a) Mão aberta b) Mão Fechada

4. **Pontuação:** No canto superior esquerdo existem três algarismos que indicam a pontuação da paciente. A pontuação é atualizada em tempo real, sempre que o jogador realiza um movimento (ver figura 4.5).
5. **Tempo:** No canto superior direito existem dois algarismos que indicam o tempo que falta até ao fim do jogo (ver figura 4.5).



Figura 4.5: Jogo 1: Pontuação e Tempo

6. **Avatar:** No canto inferior esquerdo existe um avatar que fornece ao jogador a informação sobre o ângulo de flexão do membro. Idealmente o braço deve fazer um ângulo de  $90^\circ$  com o tronco como representado na figura 4.6. Consoante o ângulo de flexão do braço do jogador assim estará representado pelo avatar. Junto ao braço do avatar existe uma barra com um esquema de cores que indica se a posição do braço é a correta, sendo que o verde corresponde à posição ideal e o vermelho a uma posição menos correta (ver figura 4.6).



Figura 4.6: Jogo 1: Avatar

#### 4.1.2 Os Menus do Jogo

O jogo inicia com o Menu Configuração e a partir deste é possível realizar todos os casos de uso do jogo (ver figura 4.7):

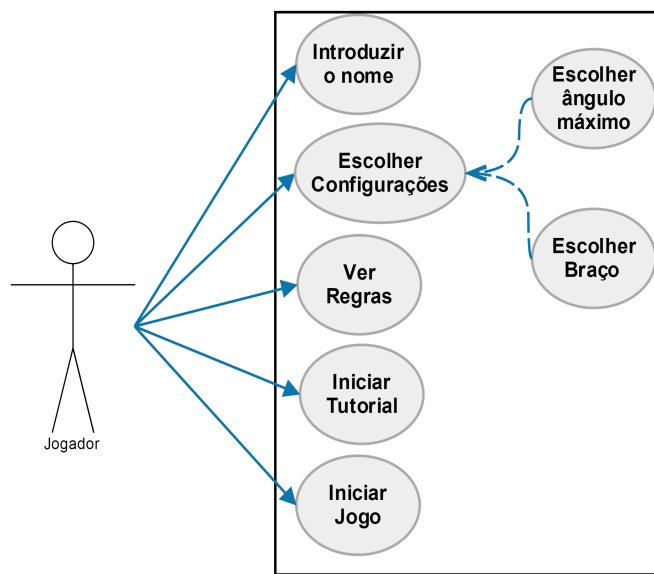


Figura 4.7: Jogo 1: Casos de Uso do Menu

1. **Menu Configuração:** Neste menu o jogador pode indicar com que membro (Direito, Esquerdo) pretende realizar o exercício assim como definir o ângulo de abdução e adução que pretende atingir. De forma a facilitar a utilização do software, foi criado um ficheiro config.txt que permite guardar a última configuração utilizada (ver figura 4.8).

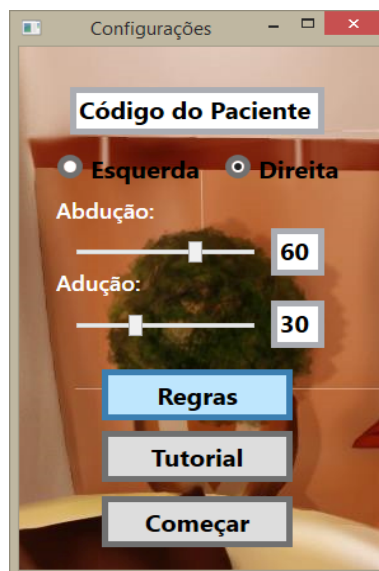
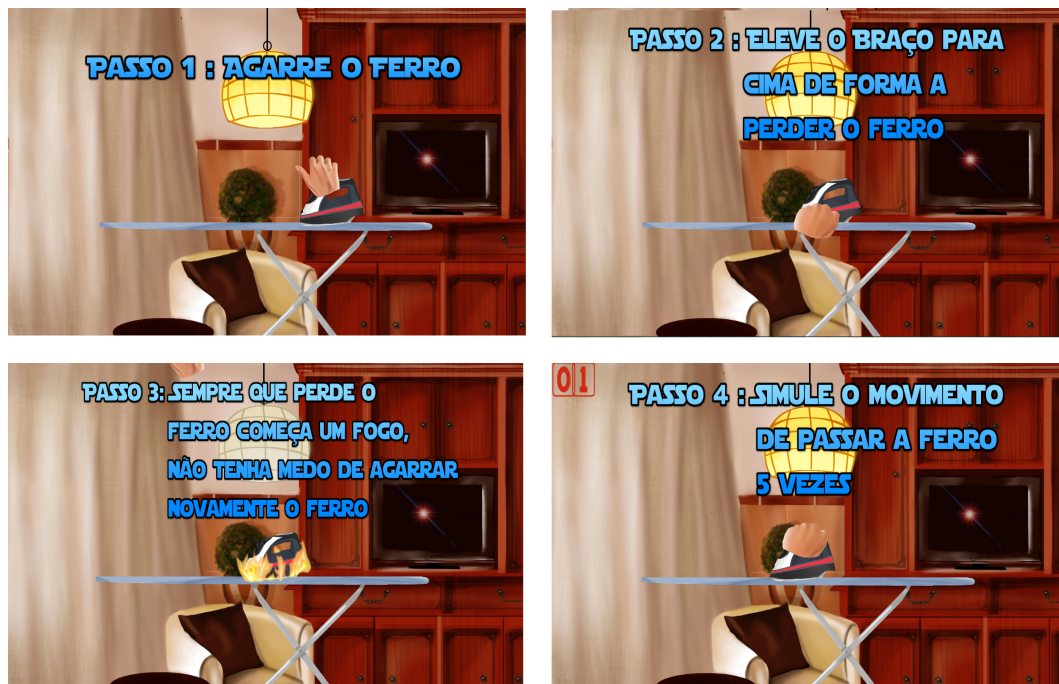


Figura 4.8: Jogo 1: Menu Configurações

2. **Regras/Página Web Offline:** De forma a facilitar a aprendizagem das regras do jogo foi criada uma página web com as regras, assim como animações exemplificativas do seu funcionamento e de um vídeo que demonstra, em simultâneo, o funcionamento do jogo e os movimentos do jogador.
3. **Tutorial:** Com a mesma finalidade da página web foi criado o modo de jogo tutorial. Neste modo o jogador aprende o funcionamento do jogo e de como deve interagir com o Kinect. Este tutorial consiste em quatro passos (ver figura 4.9) e pode ser realizado com qualquer um dos braços escolhidos no Menu Configuração:
  - (a) **Agarrar o ferro:** Como primeiro objetivo o jogador tem de simular o movimento de fechar a mão em cima do ferro.
  - (b) **Perder o controlo do ferro:** Para perder o controlo do ferro o jogador deve afastar a mão da posição do ferro.
  - (c) **Agarrar novamente o ferro:** Uma vez que, no passo anterior, o jogador perdeu o controlo do ferro, este pega fogo. Este passo tem como finalidade demonstrar que o jogador pode sempre voltar a controlar o ferro, mesmo quando este pega fogo.
  - (d) **Realizar 5 repetições do movimento de passar a ferro:** O último passo pede ao jogador para deslocar o braço para a esquerda e para a direita, num total de 5 vezes. Deste modo, o jogador ambienta-se com o movimento que tem de realizar no jogo. Caso o jogador perca o controlo do ferro então volta ao passo anterior.

Figura 4.9: Jogo 1: Tutorial



4. **Jogo:** O jogo inicia a partir do momento que o jogador carrega no botão "Começar" (ver figura 4.8). O principal objetivo do jogo é realizar, em tempo real, uma avaliação dos movimentos realizados pelo jogador, de forma a apresentar, no fim do jogo, uma avaliação sobre o seu desempenho, tendo em conta um modelo heurístico (ver figura 4.10). Adicionalmente, é realizada uma gravação da posição de todas as articulações do jogador, num ficheiro excel, para análise futura dos dados



Figura 4.10: Jogo 1: Menu Principal

5. **Pontuação:** Uma vez finalizado o tempo da realização do exercício surge o menu pontuação, que indica ao paciente numa escala de 0 a 3 estrelas a pontuação obtida, a flexibilidade do movimento de abdução e adução e o número de movimentos realizados (ver figura 4.11).

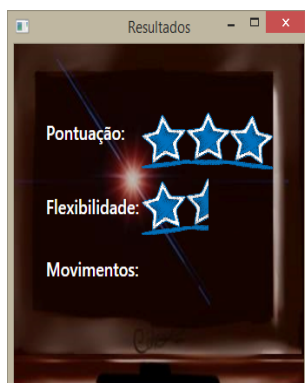


Figura 4.11: Jogo 1: Menu Resultados

### 4.1.3 Funcionamento

O objetivo do jogo é realizar, em 60 segundos, o maior número possível de movimentos, sendo que estes começam a contar a partir do momento que o Kinect deteta o esqueleto do jogador. Contudo os dados obtidos das articulações do jogador pelo Kinect necessitam de ser convertidas para a resolução espacial do ecrã do jogo, visto que pretende-se que os jogadores utilizem componentes (ferro, tábua) que têm uma posição predefinida na resolução espacial, dependente da resolução do ecrã. Para realizar a conversão é necessário a informação retornada pelo Kinect da posição das articulações em metros nos três eixos (x,y,z). Contudo esta informação das articulações em metros nos três eixos não é útil para a manipulação dos componentes do jogo, pelo que é necessário converter as posição (Tmetros2pixeis). Este passo permite converter a posição das articulações em metros para uma posição na imagem da aplicação que pode variar entre os 0 e 640 pixeis na horizontal e 0 e 480 pixeis na vertical. Porém o tamanho dos computadores atuais tem uma resolução espacial significativamente maior, pelo que é necessário converter para a resolução espacial do ecrã. A equação 4.1 demonstra como se pode obter a posição da mão do jogador, tendo em conta a resolução do ecrã (Resolucao.X, Resolucao.Y):

$$\begin{aligned}
 Tx &= Resolucao.X / 640; \\
 Ty &= Resolucao.Y / 480; \\
 X &= Tx \times Tmetros2pixeis(Mao.X); \\
 Y &= Ty \times Tmetros2pixeis(Mao.Y);
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

Com a informação das articulações do jogador na resolução espacial do ecrã é possível gerir os elementos do jogo, ou seja, tomando o exemplo da mão do jogador, depois de obtida a sua posição espacial é possível conduzir a imagem da mão para a posição espacial calculada.

O primeiro objetivo do jogo consiste em agarrar o ferro, para tal, o jogador deve simular o movimento de fechar a mão na posição do ferro. Para agarrar o ferro o jogador deve colocar a mão perto da posição do ferro, ou seja numa posição afastada T pixeis [-T, T] em relação a posição

horizontal e vertical do ferro. Na figura 4.12 o quadrado verde representa os limites para o jogador conseguir agarrar o ferro, estes limites apenas dependem da posição central do ferro.

Contudo, se o jogador ultrapassar os limites horizontais da tábua de passar a ferro  $[x1, x2]$  perde o controlo do mesmo. Outra forma possível de se perder o contacto com o ferro pode ocorrer quando o jogador afasta muito a mão no eixo vertical  $[y1, y2]$ . A branco são representados os limites para o jogador perder o controlo do ferro. Ao contrário dos limites anteriores, estes limites são automaticamente definidos como sendo os extremos da tábua de passar a ferro, no eixo horizontal e no eixo vertical a altura aproximada do ferro (ver figuras 4.12 e 4.13).

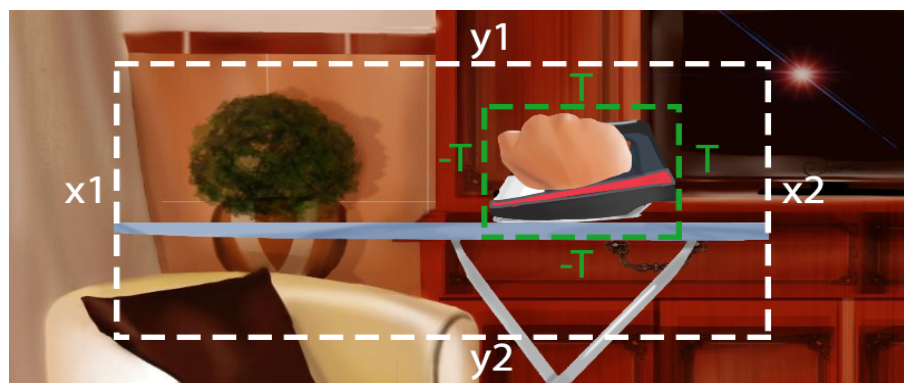


Figura 4.12: Jogo 1: Representação visual dos limites no eixo horizontal e vertical que levam o jogador a ganhar/perder o controlo do ferro.

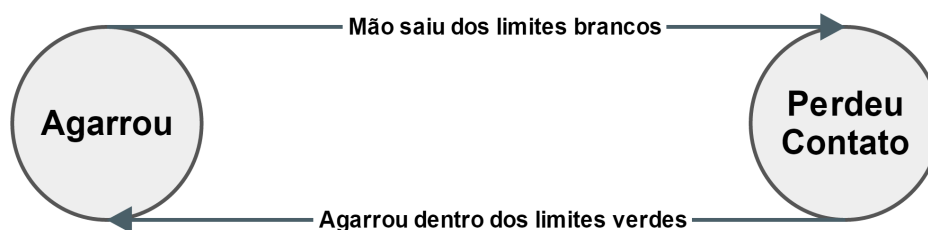


Figura 4.13: Jogo 1: Diagrama de estados / Agarrar e perder o ferro

Depois de agarrar o ferro o jogador pode finalmente começar a simular o movimento de passar a ferro. De forma a facilitar o funcionamento do jogo este foi feito numa forma semelhante a uma máquina de estados.

A tábua de passar a ferro foi dividida em 6 intervalos (ver figura 4.14) que representam 6 possíveis estados  $\{-3, -2, -1, 1, 2, 3\}$ . Os estados negativos  $\{-3, -2, -1\}$  representam o lado esquerdo da tábua enquanto os estados positivos  $\{1, 2, 3\}$  representam o lado direito. Para representar os extremos da tábua foram escolhidos os estados de maior módulo  $\{-3, 3\}$  e o centro da tábua é representado pelos estados de menor módulo  $\{-1, 1\}$  (ver figura 4.14).



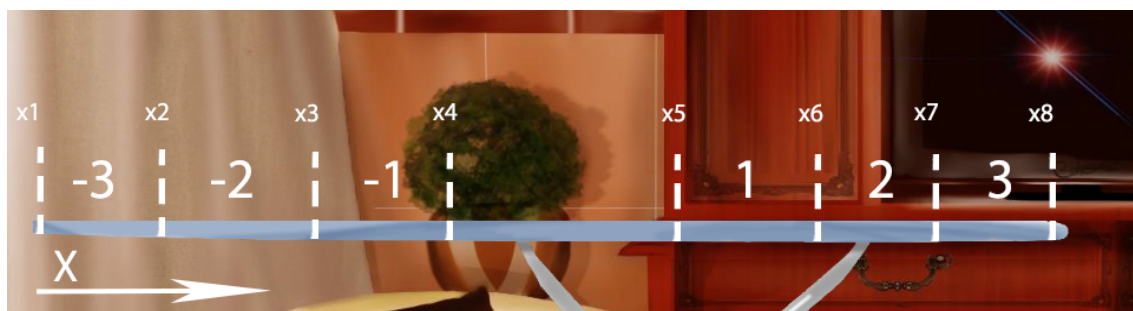


Figura 4.14: Jogo 1: Divisão da tábua de passar a ferro em estados

Esta forma de abordagem foi idealizada para evitar que a paciente passe diretamente, sem passar pelo centro da tábua, de um extremo da tábua para o outro, o que representaria uma reprodução errada do movimento desejado. Como se pode observar na figura 4.15, para chegar a um extremo da tábua é necessário passar pelos estados do centro da tábua.

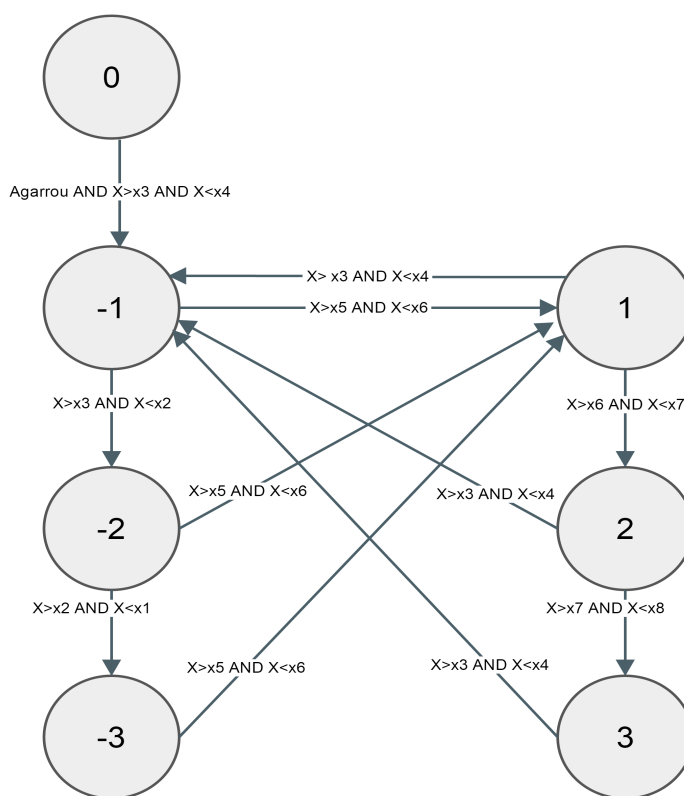


Figura 4.15: Jogo 1: Diagrama de estados do jogo

Durante todos os movimentos do jogador estão a ser realizados em tempo real o cálculo dos ângulos de abdução, adução, flexão de braço e flexão de cotovelo.

1. **Abdução/Adução:** Para o cálculo do ângulo de abdução e adução é extraída a posição da mão (MaoX) e do ombro (OmbroX) no eixo dos X (cateto oposto), assim como a posição da

mão (MaoZ) e do ombro (OmbroZ) a nível do eixo dos Z (cateto adjacente). Com as quatro posições obtidas é realizado o cálculo do tamanho dos catetos e realiza-se a tangente inversa para se extrair o ângulo de abdução e adução (ver figura 4.16). A forma de realizar o cálculo da abdução e adução é feito da mesma forma sendo que estes ângulos são diferenciados consoante o braço com que o jogador realiza o movimento (ver tabela 4.3).

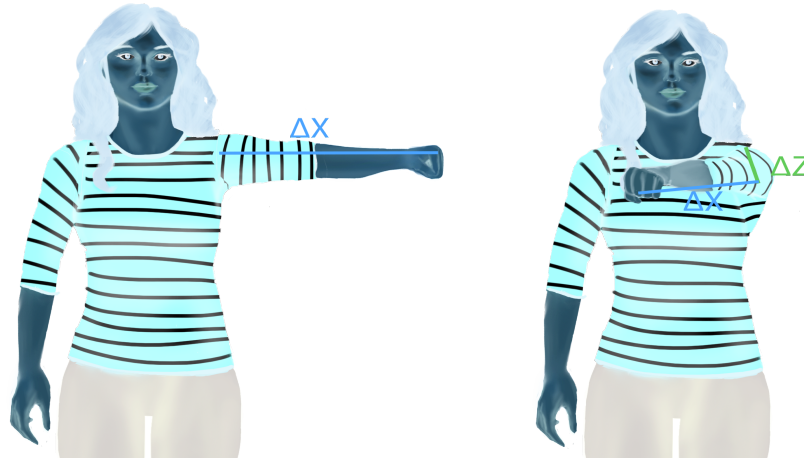


Figura 4.16: Jogo 1:Exemplo do movimento de Abdução/Adução

$$\begin{aligned}\Delta X &= MaoX - OmbroX \\ \Delta Z &= MaoZ - OmbroZ \\ (abducao/aducao) &= \tan^{-1}\left(\frac{\Delta X}{\Delta Z}\right)\end{aligned}\tag{4.2}$$

Uma vez que o cateto adjacente é sempre negativo, pois a mão do jogador que realiza o movimento se encontra mais perto da câmara que o ombro, a forma de se realizar a diferenciação entre o ângulo de adução e abdução depende do sinal do cateto adjacente e do membro escolhido pelo jogador nas configurações.

Tabela 4.3: Diferenciação de Abdução e Adução

Lado \ Sinal	Positivo	Negativo
Esquerda	Abdução	Adução
Direita	Adução	Abdução

2. **Flexão:** O cálculo do ângulo da flexão é feito duma forma semelhante ao cálculo da abdução e adução horizontal. As diferenças ocorrem no cateto oposto, que se encontra no eixo dos Y e no cateto adjacente da tangente inversa, onde é tido em conta que a distância entre a mão e o ombro varia do eixo dos X para o eixo dos Z.





Figura 4.17: Jogo 1: Alteração do cateto adjacente do eixo dos Z para o eixo dos X

A transição do eixo do cateto adjacente é visível, uma vez que ao realizar o movimento de passar a ferro se observa:

- (a) Quando o ângulo de abdução/adução é  $0^\circ$  (braço esticado de frente para a câmara, eixo dos Z) a distância entre a mão e o ombro no eixo dos X é nula e é máxima no eixo dos Z.
- (b) Quando o ângulo de abdução/adução é  $90^\circ$  (braço esticado no eixo dos X) a distância entre a mão e o ombro no eixo dos X é máximo e é nula no eixo dos Z (ver figura 4.17).

Tabela 4.4: Movimento de flexão: Cateto adjacente

<b>Cateto Adjacente</b> <b>(Abdução/Adução)</b>	<b>Eixo X</b>	<b>Eixo Z</b>
<b><math>0^\circ</math></b>	Máximo	Nulo
<b><math>90^\circ</math></b>	Nulo	Máximo

$$\begin{aligned}
 \Delta X &= MaoX - Ombro; \\
 \Delta Y &= MaoY - OmbroY; \\
 \Delta Z &= MaoZ - OmbroZ; \\
 flexao &= \tan^{-1} \left( \frac{\Delta Y}{\sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Z)^2}} \right)
 \end{aligned}
 \tag{4.3}$$

3. **Flexão Lateral do Cotovelo:** Para evitar que alguns jogadores realizem o movimento de forma incorreta foi necessário criar um detetor para verificar se o jogador tem o cotovelo esticado ou fletido no momento da realização do movimento. Idealmente o cotovelo deveria estar esticado, porém nem todos os jogadores realizam o movimento da forma esperada. O

cálculo da flexão do cotovelo é realizada através do produto interno entre dois vetores: o primeiro corresponde ao segmento de reta entre a Mão e o Cotovelo e o segundo entre o Cotovelo e o Ombro, representado respetivamente na figura 4.18 pelos segmentos de reta  $\gamma_2$  e  $\gamma_1$ . Se o jogador estiver com o braço fletido mais de  $40^\circ$  surge no ecrã um aviso "Estique o Braço".



Figura 4.18: Jogo 1: Movimento Inválido

$$\begin{aligned}
 \Delta X1 &= MaoX - CotoveloX; \\
 \Delta Z1 &= MaoZ - CotoveloZ; \\
 \Delta X2 &= OmbroX - CotoveloX; \\
 \Delta Z2 &= OmbroZ - CotoveloZ; \\
 flexao\_lateral\_do\_cotovelo &= \tan^{-1} \left( \frac{\Delta X1 \times \Delta X2 + \Delta Z1 \times \Delta Z2}{\sqrt{(\Delta X1)^2 + (\Delta Z1)^2} + \sqrt{(\Delta X2)^2 + (\Delta Z2)^2}} \right)
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

#### 4.1.4 Pontuação

O centro dos eixos dos dados em metros retornados pelo Kinect ocorre no centro do ecrã (aproximadamente na posição do centro da tábua de passar a ferro), pelo que os valores ideais, esperados para o movimento perfeito, são:

Tabela 4.5: Valores para um movimento perfeito genérico

<b> Abdução </b>	$>60^\circ$
<b> Adução </b>	$>30^\circ$
<b> Flexão </b>	$=0^\circ$
<b>Flexão Lateral do Cotovelo</b>	$=180^\circ$

Para cada movimento é guardada a informação do ângulo máximo obtido de abdução/adução, o ângulo mínimo obtido de flexão, qual o estado  $\{-3,-2,-1,1,2,3\}$  e uma variável booleana que

indica se ocorreu algum movimento inválido. Se o jogador passar entre dois estados negativos ou entre dois estados positivos, não ocorre uma alteração do número de movimentos, uma vez que esta alteração só ocorre quando há uma transição entre estados positivos e negativos. Para calcular a pontuação do jogador são dados pesos diferentes aos 3 ângulos medidos, sendo que o total dos três pesos pode dar até a um máximo de 15 pontos por movimento.

O cálculo da pontuação é feita de forma homóloga para a abdução e adução com uma única diferença, cada um dos movimentos tem um máximo definido no menu Configurações.

Tabela 4.6: Pontuação do ângulo de Abdução/Adução

	$< \max - (\max/3.33)$	$> \max - (\max/3.33)$	$> \max - (\max/5)$	$> \max - (\max)/10$	$> \max$
Abdução	+2	+4	+6	+8	+10
Adução	+2	+4	+6	+8	+10

A pontuação atribuída à flexão tenta valorizar a perpendicularidade do braço em relação ao tronco do jogador pelo que quanto menor o módulo do ângulo for, maior é a pontuação. Num movimento ideal o ângulo de flexão seria de  $0^\circ$ .

Tabela 4.7: Pontuação do ângulo de Flexão

	$<25^\circ$	$<20^\circ$	$<15^\circ$	$<10^\circ$	$<5^\circ$
Flexão	+1	+2	+3	+4	+5

Uma vez que a flexão de cotovelo lateral representa um movimento errado foi necessário criar um desconto na pontuação.

Tabela 4.8: Pontuação da flexão do cotovelo lateral

	$<140^\circ$
Flexão do Cotovelo Lateral	-2

No anexo D é possível observar a pontuação realizada por todos os jogadores envolvidos neste estudo. Para além da pontuação o anexo D mostra outros dados que aparecem (direta ou indiretamente) ao jogador no fim do jogo como a percentagem da qualidade do movimento, número de movimentos realizados e os ângulos de abdução, adução e flexão.

## 4.2 Jogo 2

Como referido anteriormente, muitas pacientes por motivos físicos deixam de realizar as tarefas domésticas. Analisando a tabela 4.2, verifica-se que a atividade que passa a ser mais desprezada pelas pacientes é a lavagem de roupa, pelo que o segundo jogo foi criado para essa problemática.

No segundo jogo foi tentada uma abordagem que abrangesse mais movimentos, pelo que este jogo apresenta três movimentos: flexão do cotovelo, circundação e flexão do braço. Para o jogador realizar estes movimentos tem de executar três tarefas: retirar a roupa do cesto, lavar a roupa no alguidar e estender a roupa no estendal.

Este jogo tem uma duração máxima de 4 minutos, no entanto, se o jogador acabar de realizar as tarefas antes, o jogo termina.

#### 4.2.1 Componentes do Jogo

O ambiente do jogo retrata um quintal com diversos elementos:

1. **Mão:** Tal como no jogo anterior, o jogador pode visualizar a posição da sua mão no jogo. Se o jogador abrir ou fechar a sua mão o jogo irá simular esse movimento (ver figura 4.4).
2. **Borboleta:** A partir do momento que o Kinect deteta o esqueleto do jogador aparece uma borboleta (ver figura 4.19). A borboleta é o elemento que permite ao jogador saber em que parte do jogo se encontra, uma vez que, esta se encontra sobre os elementos do jogo aonde o jogador tem de realizar os movimentos. A borboleta pode aparecer no jogo em cima dum dos três seguintes objetos: cesto de roupa, tanque e estendal.



Figura 4.19: Jogo 2: a) Borboleta de asas abertas b) Borboleta de asas fechadas

3. **Cesto:** O primeiro objetivo do jogador corresponde em retirar a roupa suja do cesto. Se o jogador realizar o primeiro movimento corretamente então aparece na mão do jogador uma rodilha de roupa suja. Para o jogador realizar os outros dois movimentos tem de retirar obrigatoriamente uma peça de roupa suja do cesto (ver figura 4.20).



Figura 4.20: Jogo 2: Cesto de roupa suja

4. **Roupa Suja:** Peça de roupa que sai do cesto e que aparece na mão do jogador, se este conseguir realizar minimamente o primeiro movimento (ver figura 4.21).



Figura 4.21: Jogo 2: Roupa Suja

5. **Tanque:** Componente correspondente à segunda tarefa do jogador: lavar a roupa retirada do cesto. Enquanto o jogador realiza o segundo movimento no tanque surgem bolhas de sabão. Estas vão mudando de tamanho, desde que o jogador esteja a realizar o movimento corretamente (ver figura 4.22).



Figura 4.22: Jogo 2: Tanque

6. **Bolhas:** Este elemento do jogo aparece caso o jogador esteja a simular corretamente o movimento de lavar a roupa. Existem quatro tipos de bolhas que vão alternando consoante a posição da mão do jogador no tanque (ver figura 4.23).

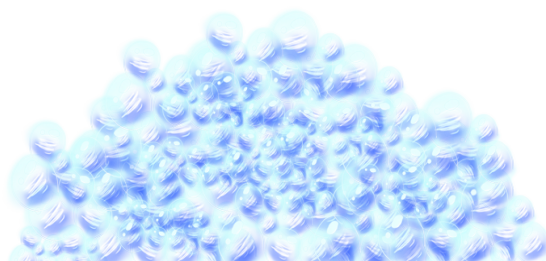


Figura 4.23: Jogo 2: Bolhas

7. **Roupa Lavada:** Depois do jogador utilizar o tanque, a roupa, que anteriormente estava suja, fica lavada. Quantas mais vezes o jogador realizar o segundo movimento, mais limpa fica a roupa. Existem três aspetos possíveis para a roupa lavada, como se pode observar na imagem 4.24.



Figura 4.24: Jogo 2: a) Roupa pouco lavada b) Roupa praticamente lavada c) Roupa lavada

8. **Estendal:** Componente responsável pela terceira (e última) tarefa do jogador: estender a roupa. Caso o jogador realize o terceiro movimento nas condições corretas, aparece no estendal uma peça de roupa estendida e presa por uma mola (ver figura 4.25).



Figura 4.25: Jogo 2: Estendal

9. **Pontuação:** No canto superior esquerdo existem três algarismos que indicam a pontuação do jogador (ver figura 4.26). A pontuação é atualizada, em tempo real, sempre que o jogador realiza um dos movimentos.
10. **Tempo:** No canto superior direito aparece o tempo decorrido desde que o esqueleto do jogador foi detetado pelo Kinect (ver figura 4.26). O jogo tem uma duração de 4 minutos, mas pode terminar antes, caso o jogador tenha completado todos os exercícios.

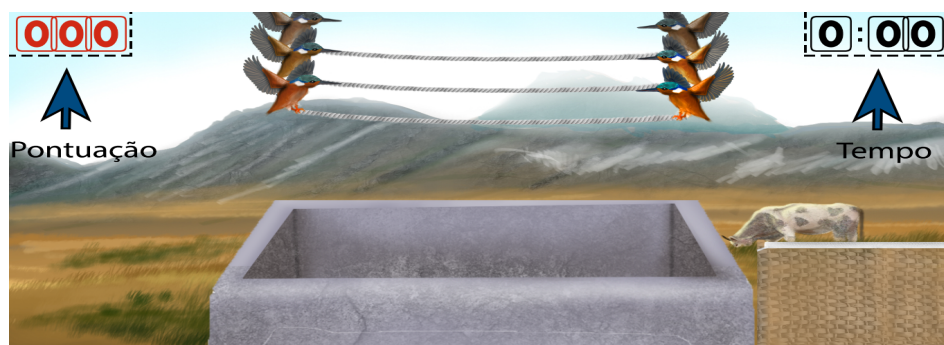


Figura 4.26: Jogo 2: Pontuação e Tempo

### 4.2.2 Os Menus do Jogo

De uma forma análoga ao primeiro jogo, o segundo jogo inicia com o menu configuração. Através deste é possível aceder aos outros menus do jogo (ver figura 4.27):

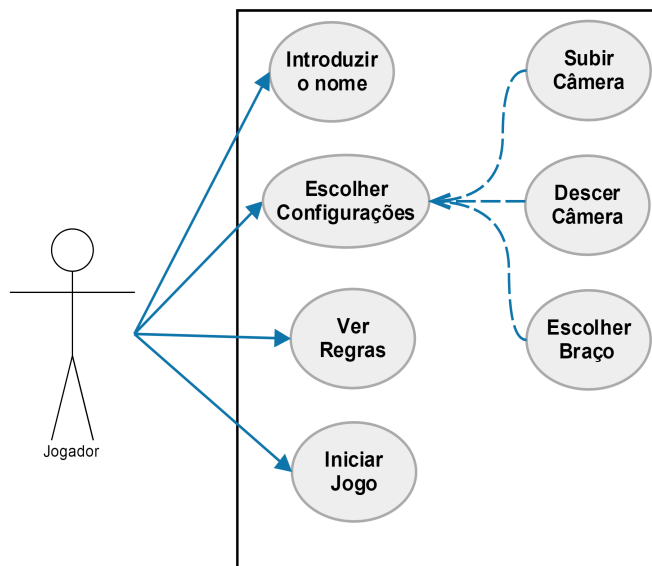


Figura 4.27: Jogo 2: Casos de Uso do Menu

1. **Menu Configuração:** Neste menu o jogador pode seleccionar com que mão pretende realizar os exercícios, indicar o seu nome e escolher se pretende subir ou descer a posição da câmara do Kinect (ver figura 4.28).

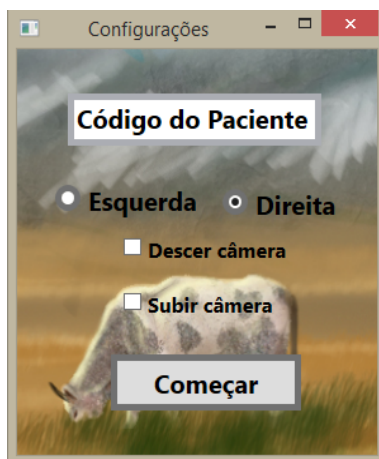


Figura 4.28: Jogo 2: Menu Configurações

2. **Regras/Página Web:** Tal como no primeiro jogo, foi criada uma página Web que pretende ensinar as regras aos jogadores, assim como demonstrar através de breves animações o funcionamento deste.

3. **Jogo:** A partir do momento que o jogador carrega no botão "Começar"(ver figura 4.28) abre o menu do jogo (ver figura 4.29). Este é composto por uma série de três repetições, ou seja os três movimentos do jogo são repetidos três vezes. O principal objetivo é observar os movimentos realizados pelo jogador de forma a lhe dar um *feedback*, enquanto grava, ao mesmo tempo, num ficheiro excel as posições das articulações para uma análise futura dos dados.

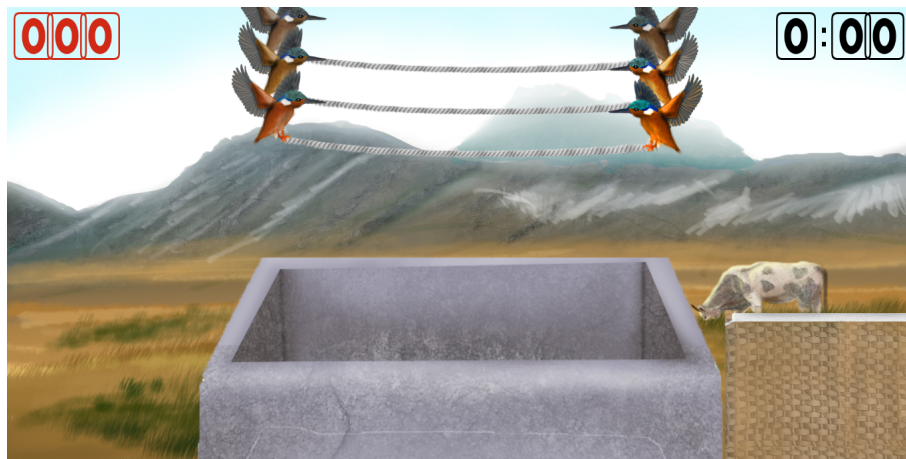


Figura 4.29: Jogo 2: Menu Principal

4. **Menu Pontuação:** Depois de terminado o jogo aparece o menu pontuação, onde o jogador pode visualizar a avaliação ao seu desempenho, ao nível de pontuação, nos três movimentos realizados e do tempo gasto (ver figura 4.30).



Figura 4.30: Jogo 2: Resultados



### 4.2.3 Funcionamento

#### 4.2.3.1 1º Movimento

O primeiro movimento consiste em retirar a roupa do cesto. Para retirar a roupa do cesto o jogador deve realizar o movimento de flexão do cotovelo (ver figura 4.31).



Figura 4.31: Jogo 2: Movimento 1 / Flexão do Cotovelo

Desta forma, para o cálculo do ângulo é utilizado o produto interno entre o segmento de reta que vai da mão ao cotovelo (segmento de reta  $\gamma_2$  da figura 4.32) e o segmento de reta que vai do cotovelo ao ombro (segmento de reta  $\gamma_1$  da figura 4.32). Para o cálculo do produto interno são utilizadas as posições destas três posições no eixo dos Y e dos Z.



Figura 4.32: Jogo 2: Flexão do Cotovelo

$$\Delta Y1 = MaoY - CotoveloY;$$

$$\Delta Z1 = MaoZ - CotoveloZ;$$

$$\Delta Y2 = OmbroY - CotoveloY;$$

$$\Delta Z2 = OmbroZ - CotoveloZ;$$

(4.5)

$$flexao\_do\_cotovelo = \cos^{-1}\left(\frac{\Delta Y1 \times \Delta Y2 + \Delta Z1 \times \Delta Z2}{\sqrt{(\Delta Y1)^2 + (\Delta Z1)^2} \times \sqrt{(\Delta Y2)^2 + (\Delta Z2)^2}}\right)$$

Para o jogador ter alguma informação visual aparece no ecrã uma avaliação consoante o ângulo atingido por este. Como se pode observar a partir da tabela 4.9 só a partir de menos de  $75^\circ$  é que o jogador recebe *feedback*. Quanto menor o ângulo atingido pelo jogador maior será a pontuação final. Estes valores foram definidos de acordo com a informação dada pelo clínico.

Tabela 4.9: Avaliação do primeiro movimento

Razoável	$<75^\circ$
Bom	$<50^\circ$
Excelente	$<30^\circ$

Para verificar se o jogador realiza o movimento corretamente foi necessário dividir o cesto da roupa ao meio, e criou-se dois estados. A nível do eixo vertical os limites são os limites verticais do cesto da roupa suja enquanto que a nível horizontal os limites são o topo, o fundo e o meio do cesto (ver figura 4.33).

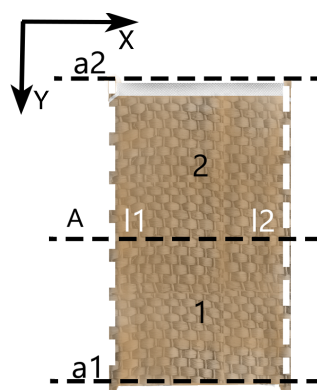


Figura 4.33: Jogo 2: Divisão do cesto em estados

Para atingir o segundo estado é necessário que anteriormente o jogador tenha passado pelo primeiro estado. No fim do movimento, se o ângulo realizado for insuficiente, o jogador terá de repetir o movimento até atingir o ângulo mínimo ( $75^\circ$ ). Se o jogador tentar sair do espaço aonde se encontra no estado 2 e tiver atingido o valor mínimo do ângulo, então junto à mão aparece uma bola de roupa suja, e a borboleta aparece em cima do tanque para indicar ao jogador que este já pode realizar o segundo movimento (ver figura 4.34).

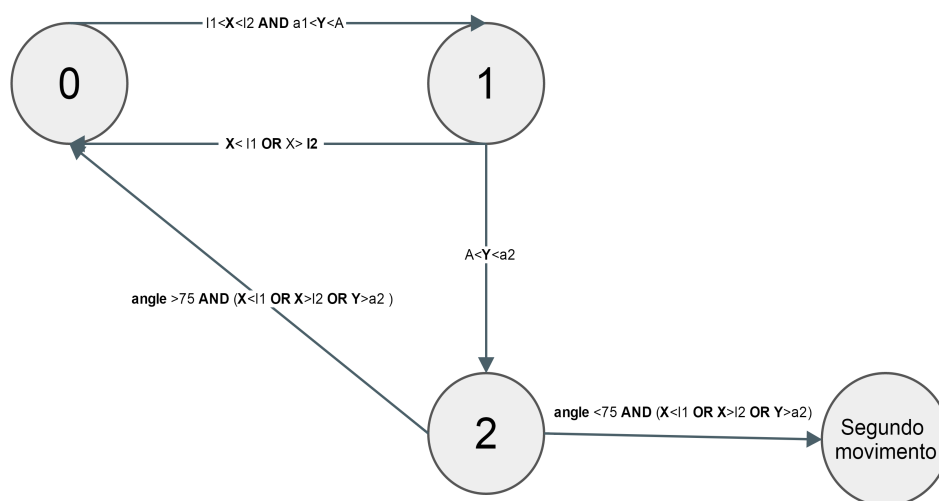


Figura 4.34: Jogo 2: Diagrama de estados do movimento 1

#### 4.2.3.2 2º Movimento

No segundo movimento o jogador necessita de lavar a roupa retirada do cesto e para isso deve realizar o movimento de circundação, que é caracterizado por utilizar movimentos anteriormente vistos como a abdução horizontal, a adução horizontal e a flexão do ombro (ver figura 4.35).



Figura 4.35: Jogo 2: Movimento 2 / Circundação

Para visualizar se o jogador realiza o movimento corretamente foi necessário dividir o tanque em duas diagonais, dividindo-o em quatro secções (ver figura 4.36).

Para calcular o declive dessas retas foi usada a equação da reta:

$$y = mx + b; \quad (4.6)$$

Para o cálculo do declive da reta foram utilizados os pontos dos cantos do tanque. Para a primeira reta usou-se os pontos  $(x1, y1)$  e  $(x2, y2)$ , enquanto para a segunda reta usou-se os pontos  $(x2, y1)$  e  $(x1, y2)$ .

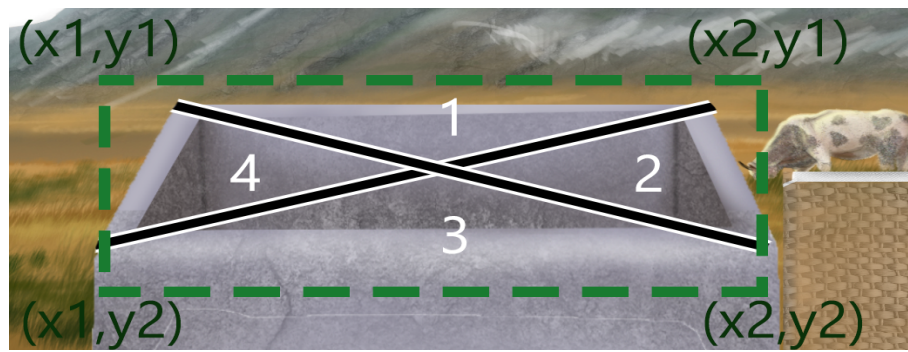





Figura 4.36: Jogo 2: Divisão do tanque em estados

Para confirmar, que o jogador realiza o movimento da circundação, implementou-se um algoritmo com as duas diagonais já identificadas e com os quatro estados observáveis na figura 4.36.

O jogador pode realizar um mínimo de 5 voltas ao tanque e um máximo de 10 voltas, consoante as suas capacidades. Como se pode observar na tabela 4.10, o aspeto da roupa lavada pode variar consoante o número de voltas realizadas pelo jogador.

Tabela 4.10: Aspeto da roupa consoante o número de movimentos realizados pelo jogador

5-8 voltas	8-9 voltas	10 voltas
		

Para calcular o número de voltas é necessário guardar os estados em que o jogador entra. Contudo, este só entra num estado se tiver entrado no estado anterior, como se pode observar no diagrama 4.37. Por exemplo, um jogador que se encontre no estado 2 pode entrar no estado 3, mas nunca no estado 1 (ver figura 4.37). Uma forma de se verificar que se encontra a realizar o movimento correto é através das bolhas que aparecem no tanque. Cada estado tem um tipo de bolhas associado, pelo que se as bolhas mudam de aspeto, é porque o jogador está a entrar em todos os estados. Se, caso contrário, as bolhas se mantiverem fixas então o jogador deve realizar um movimento de maior amplitude, de forma a entrar em todos os estados.

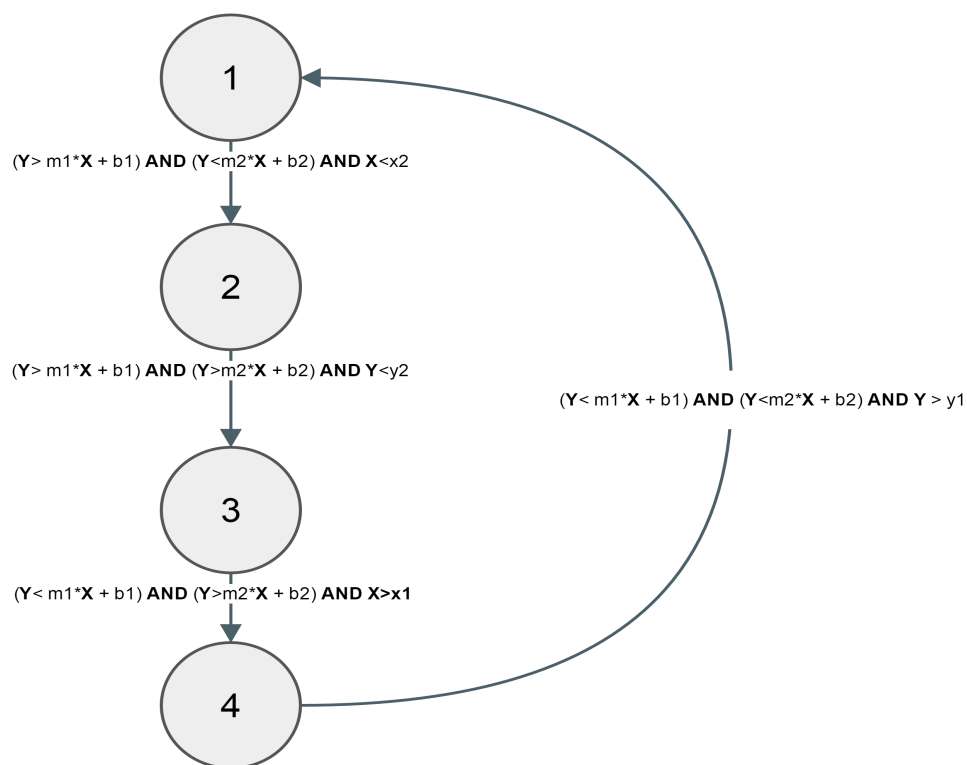


Figura 4.37: Jogo 2: Diagrama de estados do segundo movimento

#### 4.2.3.3 3º Movimento

Depois do jogador retirar a roupa suja do cesto e de a lavar no tanque é necessário estendê-la (ver figura 4.38). No jogo existem três estendais onde se irá colocar a peça de roupa. Cada um destes representa a série em que o jogador está. Na primeira série o jogador terá de colocar a peça de roupa no estendal inferior, enquanto na segunda série a irá colocar no estendal do meio e na terceira colocá-la-á no estendal superior. A partir do momento que o jogador coloca a roupa no estendal volta ao início dos exercícios, como tal, terá de ir novamente ao cesto apanhar a roupa suja.



Figura 4.38: Jogo 2: Movimento3 / Flexão do Ombro

O cálculo da flexão do braço é realizado duma forma semelhante ao cálculo do primeiro jogo. O cateto oposto é a diferença entre a posição da mão no eixo vertical (MaoY) e da posição do ombro no eixo vertical (OmbroY). O cateto adjacente é a distância entre a mão e o ombro no eixo dos Z (MaoZ, OmbroZ) (ver figura 4.39).



Figura 4.39: Jogo 2: Flexão do Ombro

$$\begin{aligned}\Delta Y &= MaoY - OmbroY \\ \Delta Z &= MaoZ - OmbroZ \\ flexao &= \tan^{-1}\left(\frac{\Delta Y}{\Delta Z}\right)\end{aligned}\tag{4.7}$$

Para o jogador estender a roupa deve então realizar o movimento de flexão/ elevação do braço até ao ângulo pré definido. A dificuldade vai aumentando em cada série, ou seja, a primeira vez que tiver de estender a roupa o ângulo de flexão que necessita é menor que na segunda e na terceira vez, como se pode observar na tabela 4.11.

Tabela 4.11: Ângulo necessário para estender a roupa consoante a série em que o jogador esteja.

Série	Limite
1 <sup>a</sup>	>40°
2 <sup>a</sup>	>55°
3 <sup>a</sup>	>70°

Para se separar o 2º movimento do 3º movimento foi estabelecido um limiar vertical que se encontra entre o tanque e o estendal (ver figura 4.40). Para além do limiar vertical o jogador necessita de realizar 5 movimentos de circundação, como se pode observar na figura 4.41.

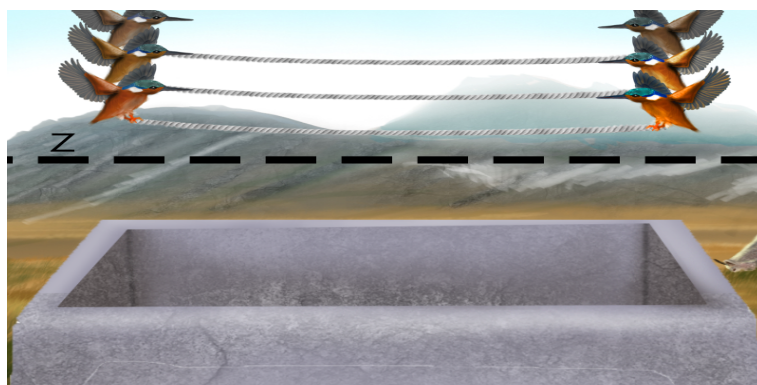


Figura 4.40: Jogo 2: Limite Vertical para separar 2º e 3º Movimento

Se o jogador atingir o limiar, e efetuar o ângulo pré definido indicado na tabela 4.11, então completa a primeira série de exercícios, tendo de regressar ao primeiro movimento, onde tem de retirar a roupa suja do cesto. Se não atingir o ângulo necessário pode sempre voltar ao movimento anterior (lavar a roupa) e melhorar o seu aspeto. Em último caso, se o jogador não conseguir atingir o ângulo de flexão pedido, o jogo fica bloqueado até perfazer 4 minutos.

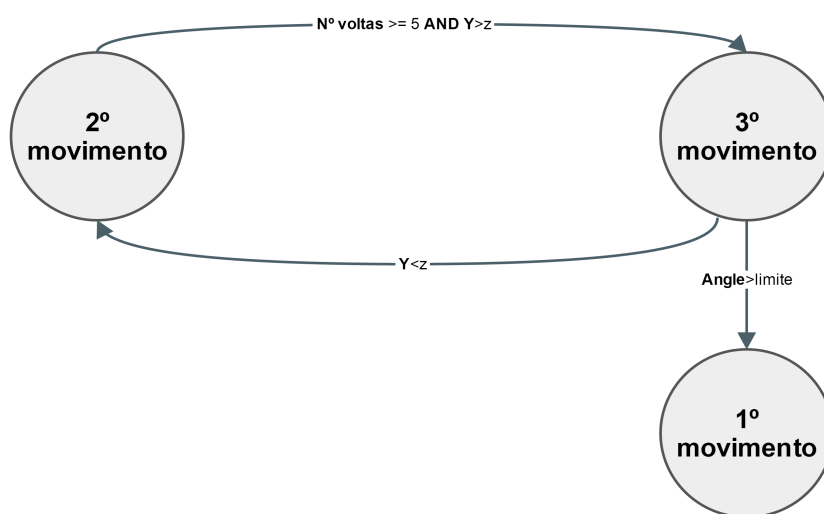


Figura 4.41: Jogo 2: Diagrama de estados do 3º movimento

#### 4.2.3.4 Pontuação

Ao contrário do primeiro jogo, onde o jogador não tem uma pontuação máxima, pois não existe um limite do número de séries, neste jogo, todos os movimentos realizados tem uma pontuação máxima atribuída e existe um número de séries limite. O primeiro movimento tem um máximo de 75 pontos, o segundo tem um máximo de 100 pontos e o terceiro vale 30, se o jogador conseguir estender a roupa, ou 0, se não conseguir. Desta forma, como este jogo tem uma repetição de três vezes cada movimento, pelo que tem uma pontuação máxima de  $(75+100+30)*3 = 615$  pontos.

Tabela 4.12: Pontuação por movimento

	<b>Pontuação</b>
1º Movimento	75-mínimo(ângulo de flexão do cotovelo)
2º Movimento	10* número de repetições
3º Movimento	30

No anexo D é possível observar a pontuação realizada por todos os jogadores envolvidos neste estudo. Para além da pontuação o anexo D mostra outros dados que aparecem ao jogador no fim do jogo como o tempo despendido em segundos, o ângulo de flexão do cotovelo (movimento 1), o número de movimentos de circundução realizados (movimento 2) e o ângulo de flexão utilizado para estender a roupa (movimento 3).

### 4.3 Conclusão

Este capítulo apresenta dois potenciais sistemas para a avaliação funcional do movimento do ombro/braço de pacientes com linfedema, utilizando um equipamento de baixo custo, o Kinect.

Os dois jogos foram criados tendo em conta que o público alvo é do sexo feminino e com idades compreendidas entre os 40 e os 75 anos. Desta forma os jogos tentam ser o mais simples possível e com uma interface agradável para o jogador. Ambos têm um funcionamento interno semelhante a máquinas de estados de forma a poder avaliar os movimentos que o jogador pretende realizar.

De forma a avaliar os movimentos realizados pelos jogadores, adaptou-se a informação obtida das articulações do esqueleto para ângulos, dado que existem jogadores com tamanhos muito diversificados, e a distância não era uma solução. Enquanto que para um jogador alto é fácil chegar aos limites da tábua de passar a ferro, no primeiro jogo, já um jogador mais baixo tem mais dificuldade, no entanto, se ambos esticarem o braço, ambos conseguem realizar o mesmo ângulo.

Estes sistemas tentam em tempo real avaliar o movimento realizado pelo jogador e dar *feedback* para corrigir movimentos errados. Contudo, uma vez que este sistema foi realizado antes de haver dados das características que devem ser avaliadas, foi criado um modelo heurístico para cada jogo.

Estes dois sistemas aproveitam os dados da posição das articulações do esqueleto adquiridos com o Kinect, permitindo assim, nos capítulos seguintes, verificar a validade das características extraídas para a deteção precoce de Linfedema.





## Capítulo 5

# Extração de Caraterísticas

Como se observou nos capítulos iniciais, problemas de movimento nos membros superiores do corpo causadas pelo tratamento do cancro de mama podem persistir por vários anos caso a paciente não realize fisioterapia. O movimento dos membros superiores é essencial para a execução de atividades diárias e a redução da flexibilidade destes pode prejudicar a qualidade de vida das pacientes. Deste modo surge a importância de criar um programa de exercícios apropriados a fim de aumentar a mobilidade e flexibilidade do braço e do ombro.

No capítulo 4 foram abordados dois jogos sérios criados com o intuito de reabilitar pacientes com problemas de mobilidade do braço e ombro. Ambos tinham incorporado um modelo de avaliação baseado em heurísticas, uma vez que estes foram desenvolvidos antes da aquisição de dados com pacientes no hospital.

Desta forma pretende-se criar um modelo mais completo e preciso através da extração de caraterísticas e utilizando técnicas de *Machine Learning*. Este modelo irá permitir distinguir que caraterísticas os jogos devem extrair para avaliar a paciente e detetar precocemente Linfedema.

### 5.1 Jogo 1

Para realizar a extração de caraterísticas é utilizado o ficheiro excel que contém a posição das articulações em metros nos três eixos durante a realização do jogo, contudo nem todos os dados recolhidos são úteis.

No caso do primeiro jogo só interessa utilizar os dados adquiridos quando o utilizador está em posse do ferro, pelo que é utilizado um identificador (colocado no ficheiro excel) para indicar se o utilizador está no controlo do ferro (1) ou se não (0). Como se pode observar na figura 5.1, apenas os dados cujo identificador sejam 1 são utilizados para a extração de caraterísticas.

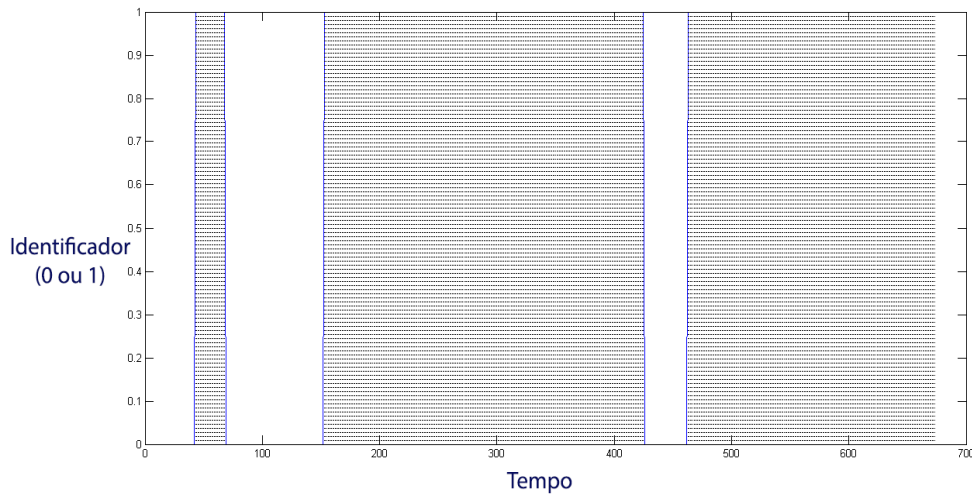


Figura 5.1: Gráfico demonstrativo da extração de dados com identificador igual a 1

Depois de extraídos os dados com informação, são calculadas as caraterísticas. Algumas das caraterísticas extraídas já são calculadas no jogo em tempo real enquanto outras foram acrescentadas:

1. **Flexão média:** Alguns jogadores, ao realizarem o jogo, podem ter a necessidade de subir ou descer o braço. Para obter o ângulo de flexão aplicou-se o mesmo método que é utilizado no jogo (ver figura 4.17).

$$\begin{aligned}
 \Delta X &= MaoX - OmbroX \\
 \Delta Y &= MaoY - OmbroY \\
 \Delta Z &= MaoZ - OmbroZ \\
 flexao &= \tan^{-1}\left(\frac{\Delta Y}{\sqrt{\Delta Z^2 + \Delta X^2}}\right)
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

2. **Deslocamento médio do Ombro:** Outros jogadores, para conseguirem atingir uma melhor pontuação, podem realizar uma deslocação do ombro. Esta consiste em deslocar o ombro para a frente (eixo dos Z) como suporte do movimento de abdução e adução. Para o cálculo da tangente são utilizadas a posição do ombro e a posição do centro do peito, como se pode observar:

$$\begin{aligned}
 \Delta X &= OmbroX - CentroX \\
 \Delta Z &= OmbroZ - CentroZ \\
 deslocamento &= \tan^{-1}\left(\frac{\Delta Z}{\Delta X}\right)
 \end{aligned} \tag{5.2}$$

3. **Flexão lateral média do Cotovelo:** Um jogador com dificuldade em realizar o movimento de adução pode fletir o cotovelo para atingir um melhor resultado. Esta característica foi feita de forma análoga ao detetor de movimento inválido do jogo 1 (ver figura 4.18).

$$\begin{aligned}
 \Delta X1 &= MaoX - CotoveloX; \\
 \Delta Z1 &= MaoZ - CotoveloZ; \\
 \Delta X2 &= OmbroX - CotoveloX; \\
 \Delta Z2 &= OmbroZ - CotoveloZ; \\
 flexao\_lateral\_do\_cotovelo &= \cos^{-1} \left( \frac{\Delta X1 \times \Delta X2 + \Delta Z1 \times \Delta Z2}{\sqrt{(\Delta X1)^2 + (\Delta Z1)^2} + \sqrt{(\Delta X2)^2 + (\Delta Z2)^2}} \right)
 \end{aligned} \tag{5.3}$$

4. **Abdução Média:** É realizada uma média ponderada com todos os picos obtidos do ângulo de abdução.
5. **Adução Média:** É realizada uma média ponderada com todos os picos obtidos do ângulo de adução.
6. **Amplitude Horizontal Média:** É realizada a soma do ângulo de abdução média e do ângulo de adução média de forma a obter a amplitude média do utilizador.
7. **Amplitude Horizontal Máxima:** É realizada a soma entre todos os picos máximos e mínimos seguidos de abdução /adução, de forma a encontrar a amplitude máxima realizada pelo utilizador.
8. **Número de Movimentos:** Número de vezes que o jogador realiza o movimento de abdução e de adução.

Para fazer a extração das últimas 5 características foi desenvolvido um algoritmo que permite fazer a detecção dos valores dos picos dos ângulos de abdução e adução. Este algoritmo passa por diversos passos, como se pode observar na figura 5.2:

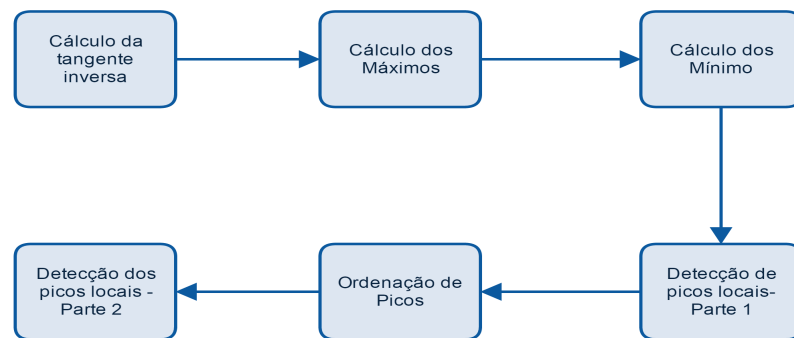


Figura 5.2: Algoritmo de identificação de máximos e mínimos

- (a) **Cálculo da tangente inversa:** O cálculo da tangente inversa é feito de forma homogênea ao método aplicado no jogo 1 (ver figura 4.16).

$$\begin{aligned}\Delta X &= MaoX - OmbroX; \\ \Delta Z &= MaoZ - OmbroZ; \\ (abducao/aducao) &= \tan^{-1}\left(\frac{\Delta X}{\Delta Z}\right)\end{aligned}\tag{5.4}$$

- (b) **Cálculo dos Máximos:** Para a determinação dos máximos são calculados todos os máximos locais e as posições em que se encontram, no entanto nem todos os máximos locais interessam, como se pode observar na figura 5.3.
- (c) **Cálculo dos Mínimos:** Para a determinação dos mínimos são calculados todos os mínimos locais e as respectivas posições em que estes se encontram. No entanto, tal como no cálculo dos máximos realizado no ponto b), nem todos os mínimos locais interessam, como se pode observar na figura 5.3.
- (d) **Deteção de Picos Locais - Parte 1:** Alguns máximos e mínimos locais são fáceis de excluir, basta para isso aplicar um *threshold* que elimine a partir de um certo patamar. Foi estipulado que máximos cujo valor fosse menor que 0 ou mínimos que fossem maior que 0 deviam ser eliminados.
- (e) **Ordenação dos Picos:** Para o passo seguinte de deteção de picos locais é necessário que estes estejam ordenados, pelo que se juntam os picos dos máximos locais, depois de aplicado o *threshold*, com os picos dos mínimos locais, também depois de aplicado o *threshold*, e são ordenados consoante a sua posição.

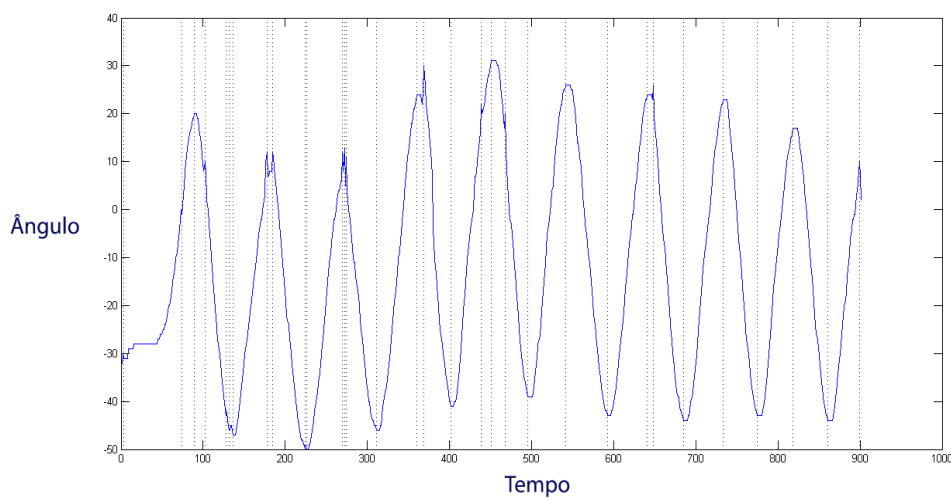


Figura 5.3: Agregação e Ordenação dos picos máximos e mínimos depois de aplicado o duplo threshold

Para além destes passos é preciso ter em conta que o valor inicial e final dos dados devem ser colocados na lista de picos locais detetados. Estes dois pontos não tem 2 vizinhos ao contrário dos picos, mas não devem ser desprezados.

(f) **Deteção de Picos Locais - Parte 2:** Depois de finalmente termos os picos ordenados, realiza-se uma seleção dos picos através do seguinte algoritmo:

- i. **1:** Se o pico atual é positivo então trata-se dum máximo
- ii. **2:** Se o pico atual e o seguinte são positivos e o pico seguinte é menor que o atual então é ignorado.
- iii. **3:** Se o pico atual e o seguinte são positivos e o pico seguinte é maior que o atual então o atual é ignorado e o novo pico fica no lugar deste.
- iv. **4:** Se o pico atual for positivo e o pico seguinte for negativo então o pico atual finalmente pode ser guardado como um máximo que interessa para a amplitude média do movimento.
- v. **5:** Se o pico atual é negativo então trata-se dum mínimo.
- vi. **6:** Se o pico atual e o seguinte são negativos e o pico seguinte é menor que o atual então é ignorado.
- vii. **7:** Se o pico atual e o seguinte são negativos e o pico seguinte é maior que o atual então o anterior é ignorado e o novo pico fica no lugar deste.
- viii. **8:** Se o pico atual é negativo e o pico seguinte é positivo então o pico atual finalmente pode ser guardado como um mínimo que interessa para a amplitude média do movimento.

Em conclusão, e como se pode observar na tabela 5.1, o pico atual só é gravado quando o pico seguinte tem um sinal inverso. Caso o pico seguinte tenha o mesmo sinal e seja maior em módulo, o pico atual é descartado. Em último caso, se o pico seguinte for do mesmo sinal mas menor em módulo, o pico atual mantém-se em espera até ser guardado ou descartado.

Tabela 5.1: Deteção de Picos Locais

<b>Actual \ Seguinte</b>				
	<b>Positivo/Maior</b>	<b>Positivo/Menor</b>	<b>Negativo/Maior</b>	<b>Negativo/Menor</b>
<b>Máximo</b>	Apagado	em Espera	Guardado	Guardado
<b>Mínimo</b>	Guardado	Guardado	Apagado	em Espera

Como se pode observar na imagem 5.4, conseguiu-se obter apenas os máximos e mínimos locais que são necessários para calcular a amplitude do movimento.

Tal como no jogo, a abdução e adução são diferenciadas pelo sinal do ângulo e pelo braço (Esquerdo ou Direito) com que o jogador realizou o jogo (ver tabela 4.3).

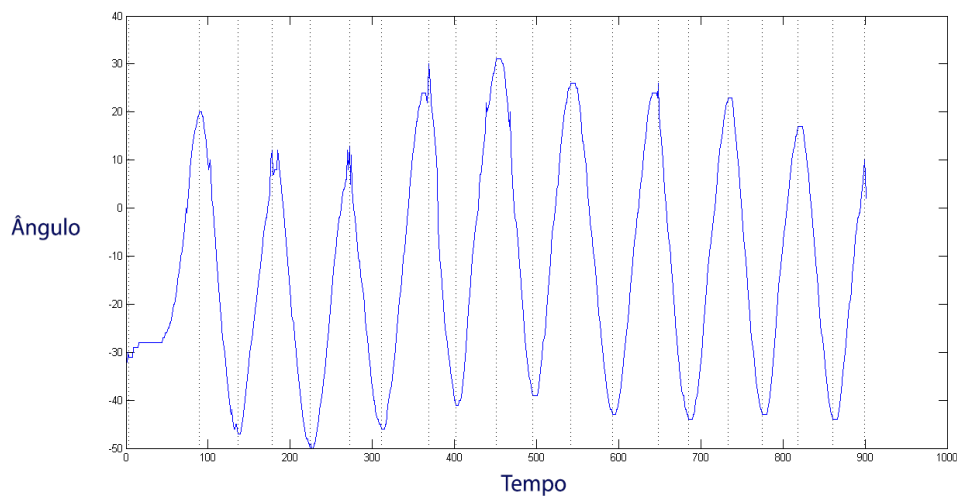


Figura 5.4: Máximos e mínimos utilizados para calcular a amplitude média

## 5.2 Jogo 2

No segundo jogo, antes de se realizar a extração de caraterísticas, é necessário dividir os dados em séries, onde uma série é a realização do 1º, 2º e 3º movimento, e dentro das séries dividir em movimentos (flexão do cotovelo, circundação e flexão do ombro) e só depois fazer a extração, como se pode observar na figura 5.5.

Em relação a extração dos dados do segundo jogo é necessário utilizar os dois ficheiros excel guardados na aquisição de dados:

1. Dados das articulações em metros;
2. Dados das articulações em pixels.

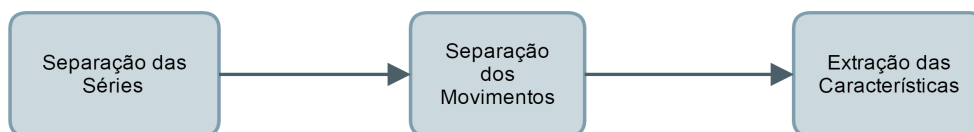


Figura 5.5: Esquema de passos para extração de caraterísticas

1. **Separação das séries:** O primeiro passo, tal como no 1º jogo, é observar o identificador introduzido nos dados. Contudo ao contrário do 1º jogo cujo identificador era uma variável booleana {0 ou 1}, no 2º jogo pode ser um de 4 valores distintos {0,1,2,3}. Estes quatro estados podem ser explicados em relação à tarefa do jogador, retirar a roupa suja do cesto (1º Movimento) (ver figura 4.33):

- (a) **Estado 0:** O jogador ainda não chegou ao cesto da roupa suja.

- (b) **Estado 1:** O jogador tem a mão na parte inferior do cesto de roupa suja.
- (c) **Estado 2:** O jogador tem a mão na parte superior do cesto da roupa suja.
- (d) **Estado 3:** O jogador retirou a mão do cesto da roupa suja.

A passagem do estado 3 para o 0 ocorre quando um jogador estende a roupa (passagem do 3º movimento para o 1º movimento). Desta forma os primeiros 3 estados do identificador {0,1,2} estão associados ao primeiro movimento, enquanto o último estado {3} indica que o jogador já completou o 1º movimento e se encontra a realizar o 2º (lavar a roupa) e o 3º movimento (estender a roupa). Para separar as séries é então realizada uma deteção da passagem do estado do identificador de 3 para 0, uma vez que esta passagem simboliza o terminar de uma série completa (ou seja a realização dos três movimentos).

No caso do utilizador realizar as 3 séries previstas, o gráfico dos 3 movimentos seria algo semelhante à figura 5.6.

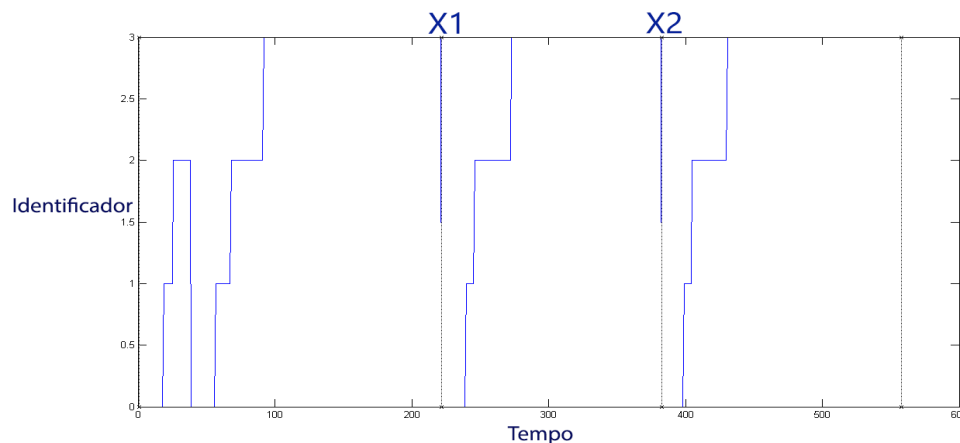


Figura 5.6: Gráfico demonstrativo da separação dos dados em séries

Como se pode observar na figura 5.6, o jogador realizou as três séries, a 1ª série começa no 1º dado adquirido e vai até X1 (1ª transição do estado 3 para 0). A 2ª série situa-se entre o X1 e o X2 (2ª transição do estado 3 para o 0) e, finalmente, a 3ª série vai desde X2 até o último dado adquirido.

Tabela 5.2: Separação dos dados em séries.

Série	1º Limite	2º Limite
<b>1ª Série</b>	1º dado	X1
<b>2ª Série</b>	X1	X2
<b>3ª Série</b>	X2	último dado

2. **Separação dos Movimentos:** Depois de separar as séries, é necessário separar os dados de cada uma delas pelos 3 movimentos. O primeiro movimento contém os estados {0,1,2},



enquanto que o segundo e o terceiro movimento são identificados pelo estado 3 e separados por um *threshold* no eixo horizontal (ver figura 4.40).

Para a detecção da passagem do 1º movimento para o 2º movimento é realizado uma detecção da passagem do estado do identificador de 2 para 3.

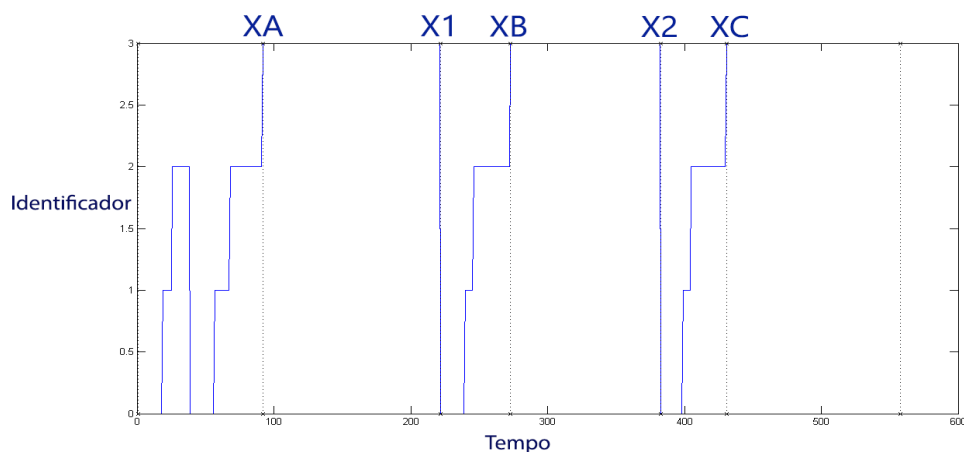


Figura 5.7: Gráfico demonstrativo da separação dos dados em movimentos

Como se pode observar na figura 5.7, as letras representam a passagem do estado 2 para o estado 3, e os números a passagem do estado 3 para o 0. Também se pode observar na figura 5.7 que o jogador tentou realizar por duas vezes o 1º movimento, sendo que na segunda vez teve sucesso. Nestes casos, o 1º movimento abrange todas as tentativas de realização do exercício.

Tabela 5.3: Separação das séries em movimentos (incompleto).

Série	Movimento	1º Limite	2º Limite
<b>1ª Série</b>	<b>1º Movimento</b>	1	XA
	<b>2º Movimento</b>	XA	X1
	<b>3º Movimento</b>	XA	X1
<b>2ª Série</b>	<b>1º Movimento</b>	X1	XB
	<b>2º Movimento</b>	XB	X2
	<b>3º Movimento</b>	XB	X2
<b>3ª Série</b>	<b>1º Movimento</b>	X2	XC
	<b>2º Movimento</b>	XC	fim
	<b>3º Movimento</b>	XC	fim

Para separar o 2º e o 3º movimento, tal como indicado anteriormente, é utilizada a informação da posição da mão a nível dos pixels. Como se pode observar na figura 5.8, existe um patamar (Z) que divide o 2º do 3º movimento.

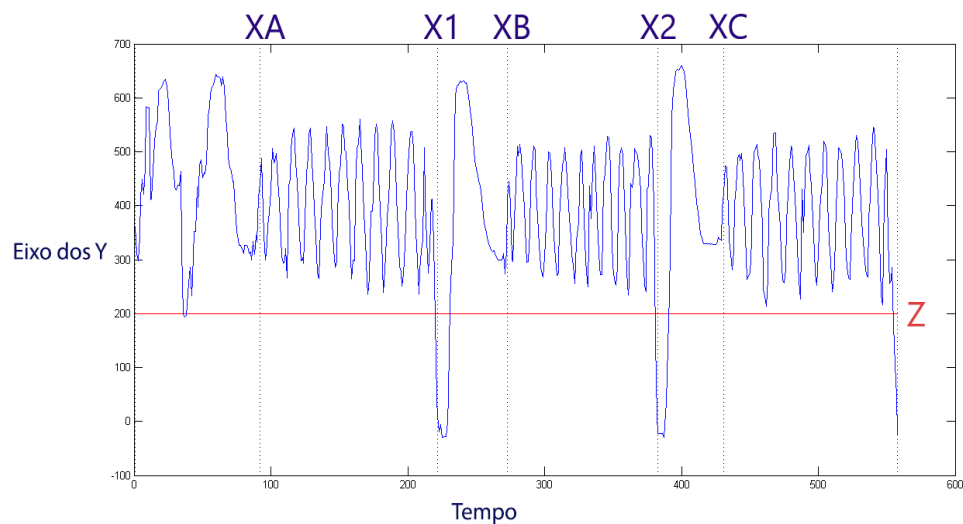


Figura 5.8: *Threshold* que permite a separação dos dados entre o segundo e o terceiro movimento

Tabela 5.4: Separação das séries em movimentos (completo)

Série	Movimento	1º Limite	2º Limite	Patamar
<b>1ª Série</b>	<b>2º Movimento</b>	XA	X1	Acima
	<b>3º Movimento</b>	XA	X1	Abaixo
<b>2ª Série</b>	<b>2º Movimento</b>	XB	X2	Acima
	<b>3º Movimento</b>	XB	X2	Abaixo
<b>3ª Série</b>	<b>2º Movimento</b>	XC	fim	Acima
	<b>3º Movimento</b>	XC	fim	Abaixo

3. **Extração das Caraterísticas:** Para cada um dos três movimentos são extraídas diferentes caraterísticas.

(a) **1º Movimento:** No 1º movimento o jogador deverá extrair a roupa suja do cesto. Como se pode observar na figura 4.31, o jogador deverá tentar atingir o máximo que conseguir que a mão se aproxime do ombro mantendo o cotovelo fixo.

i. **Flexão média do Cotovelo:** A única caraterística que é analisada no jogo (do 1º movimento) é o ângulo interno realizado pela mão, cotovelo e ombro (ver figura

4.32).

$$\begin{aligned}
 \Delta Y1 &= MaoY - CotoveloY; \\
 \Delta Z1 &= MaoZ - CotoveloZ; \\
 \Delta Y2 &= OmbroY - CotoveloY; \\
 \Delta Z2 &= OmbroZ - CotoveloZ; \\
 flexao\_do\_cotovelo &= \cos^{-1} \left( \frac{\Delta Y1 \times \Delta Y2 + \Delta Z1 \times \Delta Z2}{\sqrt{(\Delta Y1)^2 + (\Delta Z1)^2} \times \sqrt{(\Delta Y2)^2 + (\Delta Z2)^2}} \right)
 \end{aligned} \quad (5.5)$$

- ii. **Deslocamento máximo do Ombro** : Para realizar o movimento pode ocorrer um deslocamento do ombro, aproximando-o da mão. Para realizar a análise do deslocamento do ombro faz-se uma comparação entre a posição do ombro {OmbroX, OmbroY, OmbroZ} com a posição do centro do peito {CentroX, CentroY, CentroZ}.

$$\begin{aligned}
 \Delta X &= OmbroX - CentroX; \\
 \Delta Y &= OmbroY - CentroY; \\
 \Delta Z &= -(OmbroZ - CentroZ); \\
 deslocamento\_do\_ombro &= \tan^{-1} \left( \frac{\Delta Z}{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}} \right)
 \end{aligned} \quad (5.6)$$

- (b) **2º Movimento**: No 2º movimento o jogador tem de lavar a roupa no tanque. Para tal deve realizar o movimento de circundação como indicado na figura 5.9.

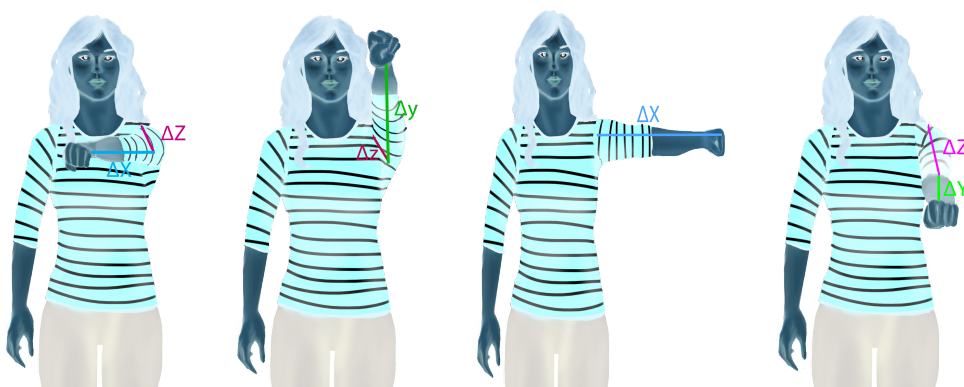


Figura 5.9: Movimento 2: a)Adução b) Flexão c) Abdução d) Flexão

Como se pode visualizar na figura 5.9 e na tabela 5.5, ao realizar o movimento de circundação o jogador altera a distância entre a mão e o ombro nos diversos eixos. Desta forma é possível extrair deste movimento uma amplitude de movimento horizontal e vertical, alternando apenas o eixo dos catetos.

Tabela 5.5: Cateto Adjacente no movimento de circundução

<b>Cateto Adjacente</b> <b>Imagem</b>	<b>Eixo X</b>	<b>Eixo Y</b>	<b>Eixo Z</b>
<b>a)/c)</b>	Máximo	Nulo	Não Nulo
<b>b)/d)</b>	Nulo	Máximo	Não Nulo

- i. **Alcance médio Horizontal (Abdução/Adução):** Caraterística que permite visualizar o alcance horizontal que o jogador consegue atingir. O cateto oposto é calculado através da diferença entre a posição horizontal entre a mão (MaoX) e o ombro (OmbroX). Contudo, ao contrário do primeiro jogo, neste movimento de circundução, o cateto adjacente varia entre o eixo vertical e o eixo dos Z, como se pode visualizar na tabela 5.5. Mesmo que o cateto adjacente no eixo dos Z não seja nulo, é necessário ter em conta a variação do cateto no eixo vertical.

$$\Delta X = MaoX - OmbroX$$

$$\Delta Y = MaoY - OmbroY$$

$$\Delta Z = MaoZ - OmbroZ \quad (5.7)$$

$$abducao/aducao = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta X}{\sqrt{\Delta Z^2 + \Delta Y^2}}\right)$$

O cálculo do alcance horizontal é realizado de forma análoga ao alcance médio calculado no 1º jogo, seguindo todos os passos já explicados anteriormente neste capítulo (ver figura 5.2).

Contudo, uma vez que neste movimento o utilizador não é obrigado a realizar grandes amplitudes de movimento, o algoritmo pode não detetar todos os movimentos, uma vez que no algoritmo os máximos são positivos e os mínimos negativos. Como se pode observar na figura 5.10, os primeiros dois máximos não são detetados, dado que não são positivos.

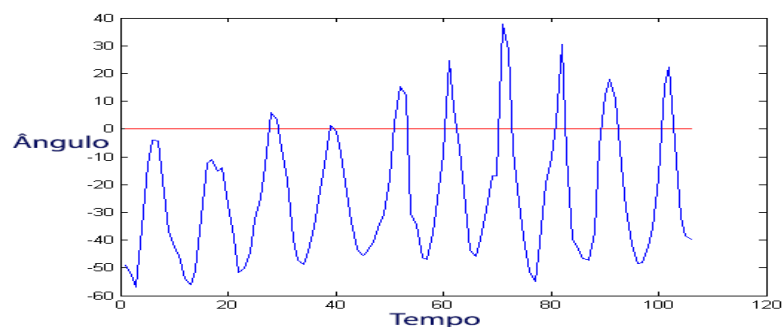


Figura 5.10: Picos não detetáveis pelo algoritmo

Tendo em conta esta situação, é necessário subtrair ao sinal o seu valor médio. Ou seja, se o sinal tiver um valor médio positivo, a subtração baixa o sinal, de forma a conseguir captar os mínimos, e se o sinal tiver um valor médio negativo, então o sinal sobe, o que permite detetar todos os máximos. Analisando novamente o sinal anterior, depois de lhe subtrair o sinal médio, é observável que todos os máximos e mínimos são detetados agora pelo algoritmo (ver figura 5.11).

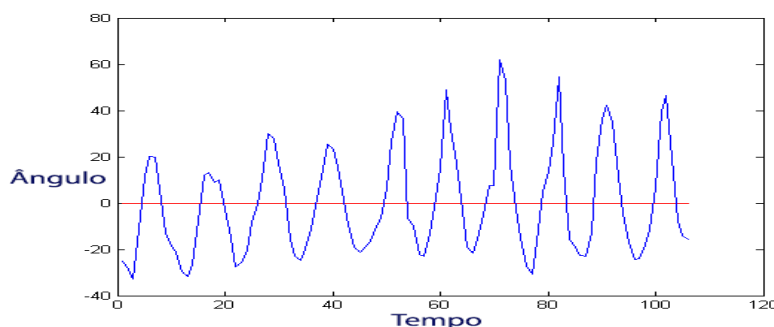


Figura 5.11: Subtração do valor médio ao sinal

- ii. **Alcance médio Vertical (Flexão):** O movimento de circundução permite observar, para além do alcance horizontal, o alcance vertical do jogador. O cálculo do ângulo de flexão é feito duma forma análoga ao ângulo de abdução e adução, com a diferença que o cateto oposto deixa de ser no eixo horizontal e passa ser no eixo vertical. Tal como no cálculo do ângulo de abdução e adução é necessário ter em conta que o cateto oposto varia entre o eixo dos Y e o eixo dos Z, como se pode observar na tabela 5.5.

$$\Delta X = MaoX - OmbroX$$

$$\Delta Y = MaoY - OmbroY$$

$$\Delta Z = MaoZ - OmbroZ$$

(5.8)

$$flexo = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta Y}{\sqrt{\Delta Z^2 + \Delta X^2}}\right)$$

O cálculo do alcance vertical é feito duma forma análoga ao alcance horizontal, onde primeiro são detetados os picos máximos e mínimos, seguida do cálculo da média sobre os máximos e outra sobre os mínimos. Depois de obtido o valor máximo médio e o valor médio mínimo é possível obter o alcance vertical máximo médio somando os dois valores médios dos picos. Contudo, tal como no alcance horizontal, é necessário subtrair ao sinal o seu valor médio para o algoritmo de deteção de máximos funcionar corretamente.

- iii. **Flexão lateral média do Cotovelo:** Alguns jogadores por motivos físicos podem tentar realizar o movimento fletindo o cotovelo para conseguir uma maior

amplitude de movimento. Desta forma, em princípio, um jogador sem restrições de mobilidade do braço deverá realizar o movimento com o braço totalmente esticado (ângulo interno de 180°), enquanto um utilizador com restrições deverá fletir o braço. Para a deteção da flexão do cotovelo é realizado o cálculo do ângulo interno entre a Mão, Cotovelo e Ombro (ver figura 4.18):

$$\begin{aligned}
 \Delta X1 &= MaoX - CotoveloX; \\
 \Delta Z1 &= MaoZ - CotoveloZ; \\
 \Delta X2 &= OmbroX - CotoveloX; \\
 \Delta Z2 &= OmbroZ - CotoveloZ; \\
 flexao\_lateral\_do\_cotovelo &= \tan^{-1} \left( \frac{\Delta X1 \times \Delta X2 + \Delta Z1 \times \Delta Z2}{\sqrt{(\Delta X1)^2 + (\Delta Z1)^2} + \sqrt{(\Delta X2)^2 + (\Delta Z2)^2}} \right)
 \end{aligned}
 \tag{5.9}$$

- (c) **3º Movimento:** Neste movimento o utilizador deverá levantar o braço e estender a roupa já lavada no estendal.

- i. **Elevação máxima do Braço:** A diferença entre a flexão do 2º movimento e do 3º movimento é no tipo de exercício. Enquanto no 2º movimento é pedido para fazer o movimento de circundução, e o jogador realiza o movimento de flexão integrada no exercício, aqui no 3º movimento, é pedido para o utilizador esticar o braço o máximo que puder para cima (ver figura 4.38). Neste caso, o cateto adjacente é a diferença vertical entre a mão (MaoY) e o ombro (OmbroY) e o cateto oposto é a diferença no eixo dos Z entre a mão (MaoZ) e o ombro (OmbroZ).

$$\begin{aligned}
 \Delta Y &= MaoY - OmbroY \\
 \Delta Z &= MaoZ - OmbroZ \\
 flexo &= \tan^{-1} \left( \frac{\Delta Y}{\Delta Z} \right)
 \end{aligned}
 \tag{5.10}$$

- ii. **Elevação média do Ombro:** Alguns jogadores ao realizarem o terceiro movimento podem sentir necessidade deslocar o ombro no eixo horizontal, para tentar atingir uma maior amplitude vertical. Para o cálculo da elevação de Ombro é realizada a diferença entre a posição do ombro do utilizador {OmbroY, OmbroZ,

OmbroX} em relação ao peito do utilizador {CentroY, CentroZ, CentroX}.

$$\begin{aligned}
 \Delta X &= OmbroX - CentroX; \\
 \Delta Y &= OmbroY - CentroY; \\
 \Delta Z &= OmbroZ - CentroZ; \\
 elevacao &= \tan^{-1}\left(\frac{\Delta Y}{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Z^2}}\right)
 \end{aligned}
 \tag{5.11}$$

iii. **Flexão média do cotovelo:** Alguns jogadores com reduzida mobilidade, poderão fletir o cotovelo ao realizar o movimento, em vez de manter este num ângulo de 180° entre cotovelo, mão e ombro. O cálculo realizado é igual ao da flexão do cotovelo no 1º movimento (ver equação 5.5).

Para cada série é então imprimido um gráfico com todos os dados utilizados e o valor obtido pelo utilizador em cada uma destas 8 caraterísticas. Na imagem seguinte é possível observar os resultados dum jogador na realização da 1ª série.

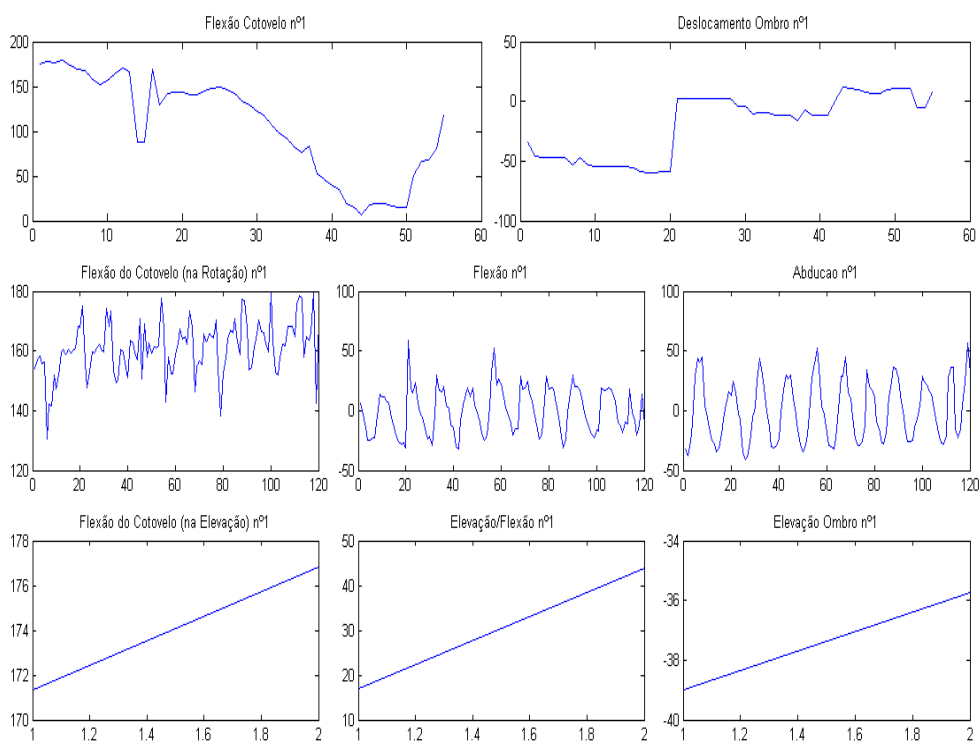


Figura 5.12: Gráficos das Caraterísticas dum jogador

Uma vez que o jogador pode realizar até três séries, o valor final das caraterísticas é a média do número de séries realizadas pelo jogador.

## 5.3 Conclusão

Depois de no capítulo anterior se ter analisado o funcionamento dos jogos, neste capítulo determinou-se o conjunto de características extraídas. Estas serão utilizadas para obter o melhor modelo que realize a detecção de Linfedema. Para encontrar o melhor modelo, calcula-se a taxa de erro para todos os sub conjuntos de características. Desta forma, para se obter uma taxa de erro mais baixa, extraiu-se as características que se esperavam que permitisse distinguir entre jogadores com restrições de mobilidade e jogadores sem restrições.

Estas características foram obtidas através do conjunto de dados guardados das articulações, durante a realização do jogo. Todas as características extraídas nos dois jogos são ângulos, uma vez que, tal como indicado no capítulo 4, a distância não é uma boa medida, pois varia com o tamanho do jogador, enquanto que os ângulos dependem apenas da mobilidade do ombro/braço.

Todavia, os dados necessitam de tratamento antes do cálculo das características. O tratamento pode ser a ordenação dos dados ou eliminação de parte destes. No caso do primeiro jogo, foi necessário seleccionar os dados úteis para a extração de características, verificando se o jogador está na posse do ferro. No caso do segundo jogo, uma vez que o jogo intercala diferentes movimentos, foi necessário separar os dados em séries e dentro destas separar em movimentos e só depois é que se conseguiu extrair as características.





## Capítulo 6

# Resultados

Depois de apresentada a problemática no capítulo 2 e algumas formas de avaliação subjetiva da condição do membro no estado da arte, foi então sugerida uma solução que permitirá a reabilitação do membro através da fisioterapia e jogos sérios.

Contudo, devido à ausência de pacientes, no período que antecedeu a elaboração deste jogo, criou-se uma avaliação do movimento baseada em heurísticas, consoante as características que se esperavam ser as indicadas para pacientes com linfedema. Porém, existem características que permitem obter melhores resultados, pelo que no capítulo 5 determinou-se um conjunto de características onde constavam algumas das já utilizadas nos jogos e outras que não são avaliadas na realização do jogo.

Neste capítulo pretende-se criar um novo modelo para deteção precoce de linfedema com os resultados obtidos da extração de características. Todavia, a reabilitação com os jogos, para além de pacientes com linfedema, pode abranger um maior número de pessoas com outras patologias. Foi, por isso, tido em conta os estados de Dor, Fraqueza e Rigidez do ombro e para cada um deles foi criado um modelo.

Uma vez que não foi possível efetuar testes, durante um período de tempo considerável e fiável, em pacientes, a fim de verificar se houve uma evolução da mobilidade do ombro/braço, não é possível determinar a eficácia dos sistemas de reabilitação propostos no capítulo 4. No entanto, é possível verificar a qualidade das características extraídas e obter um modelo que permita detetar precocemente os estados de Linfedema, Dor, Rigidez e Fraqueza. Estes modelos são obtidos através da técnica de *machine learning*.

### 6.1 Questionário de Satisfação

A usabilidade tornou-se um fator primordial na determinação da aceitabilidade e consequente sucesso de programas/aplicações [90]. Os utilizadores estão cada vez menos dispostos a interfaces difíceis ou desconfortáveis, pois a experiência com algumas interfaces atuais mostrou-lhes que um produto pode realmente ser fácil de aprender e agradável de usar. Assim, uma tentativa para avaliar a usabilidade das interfaces de utilizador é de extrema importância [91].

A usabilidade é um conceito geral que não pode ser medido, mas está relacionada com vários parâmetros de usabilidade que podem ser medidos. Parâmetros mensuráveis de usabilidade dividem-se em dois grupos: medidas objetivas de desempenho, que medem como os utilizadores são capazes de usar o sistema, e medidas subjetivas de preferência do utilizador, que avaliam a opinião do utilizador. Eficácia, eficiência e satisfação podem ser vistos como critérios críticos que influenciam a usabilidade. Para avaliar esses critérios, é necessário decompor em sub-critérios [91].

Foi então, desta forma, realizado um questionário onde as perguntas visavam avaliar a usabilidade das interfaces do software. Como referido anteriormente, um dos critérios de usabilidade é a satisfação do jogador, pelo que este questionário permitiu observar alguns sub-critérios de satisfação:

1. **É apropriado para a tarefa?**
2. **O utilizador tem um controlo explícito?**
3. **É flexível?**
4. **É tolerante a erros?**
5. **É compatível com as expetativas do utilizador?**
6. **É explícito?**
7. **É consistente?**
8. **Carga de Trabalho?**

Cada pergunta pode ser avaliada numa escala de 1 a 5, onde 5 é o mais positivo possível e 1 o mais negativo. O questionário encontra-se no Anexo A. Na tabela 6.1 é possível observar a classificação atribuída pelos utilizadores, num total de 42 pacientes com idades compreendidas entre os 40 aos 85 anos. No anexo E é possível observar as respostas dadas pelas 42 pacientes.

Tabela 6.1: Resposta ao Questionário

Questão	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Média</b>	4.4	4	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	3.8
<b>Desvio Padrão</b>	0.7	1.1	0.9	0.7	0.9	0.8	0.8	1.2

Como se pode constatar da tabela 6.1 das respostas ao questionário, todas tiveram uma avaliação positiva. Contudo a última questão destaca-se ligeiramente das anteriores, uma vez que muitas das pacientes que realizaram os jogos tinham problemas de mobilidade e acharam o jogo demasiado exigente. No entanto os jogos aparentam ser muito simples aos olhos de qualquer pessoa que não tem problemas de mobilidade do braço/ombro.

Ao observar o desvio padrão verifica-se que as questões 2 e 8 têm um desvio maior. Em relação à pergunta 2, isto acontece porque vários jogadores não conseguiam realizar os movimentos, alguns deles tinham linfedema, dor, fraqueza ou rigidez no braço, o que limitou a sua execução dos movimentos. Em relação a pergunta 8, muitos jogadores conseguiam realizar os movimentos, no entanto ao fim de algum tempo necessitavam de descansar, pois a realização dos exercícios cansava-lhes o braço.

## 6.2 Modelos de Classificação

Segundo a definição ISO (*International Standards Organization*) eficácia é o grau de exatidão pela qual utilizadores específicos podem atingir resultados específicos em ambientes especificados, ou seja, a eficácia mede o grau de atingimento de resultados [92]. A máxima eficácia é atingida com o alcance total dos objetivos.

Uma vez que não houve tempo suficiente para testar os jogos a longo prazo, de forma a observar os efeitos na mobilidade do braço/ombro, não é possível determinar a sua eficácia. Contudo é possível obter a eficácia da deteção precoce de Linfedema através dos modelos de classificação. Desta forma, para obter a melhor eficácia na deteção, foi utilizada a técnica de *Machine Learning* com todas as características, determinadas no capítulo anterior, de forma a verificar quais as que mais se adequam ao contexto de um jogo sério para pacientes em reabilitação.

Técnicas de *Machine Learning* são utilizadas para construir modelos de classificação preditiva. Por outras palavras, uma base de dados conhecida (conjunto de dados de treino), que inclui dados de entrada e valores de resposta, é usado para construir um modelo usando um algoritmo de aprendizagem. Este modelo de classificação pode então ser usado para fazer previsões para uma nova base de dados. Neste estudo, diferentes classificadores de aprendizagem foram testados:

1. Fisher Linear Discriminant Analysis (LDA);
2. Naive Bayes Classifier;
3. Support Vector Machines (SVMs);

A fim de explorar todas as possibilidades e comparar resultados, os modelos foram treinados e ensaiados para todas as combinações possíveis de características, o que leva a um total de  $2^8$  subconjuntos diferentes possíveis para cada jogo. Pelo que, o modelo foi projetado usando as características designadas, considerando todos os subconjuntos possíveis, por meio de um esquema Leave One Out (LOO) [93].

O Leave One Out consiste em utilizar todos os dados menos um e usá-los como base de dados de treino. O único dado que não é utilizado para treino é inserido no algoritmo de predição depois de treinado. Este passo é realizado para todos os dados, desta forma todos os dados servem para treinar e para prever, sendo por isso o esquema LOO indicado para situações onde estão disponíveis poucos dados.

### 6.2.1 Fisher Linear Discriminant Analysis

O objetivo do LDA é reduzir a dimensionalidade enquanto preserva o máximo de informação possível que permite distinguir as classes. Assumindo que se tem um conjunto de dados com  $D$  dimensões  $\{X^1 X^2 \dots X^N\}$ . Desse conjunto de dados  $N_1$  pertence a classe  $w_1$  e  $N_2$  pertence a classe  $w_2$ . O LDA pretende obter um escalar  $Y$  através da projeção das amostras  $X$  numa linha.

$$Y = W^T * X \quad (6.1)$$

Como se pode observar na figura 6.1 existem infinitas projeções, contudo o objetivo é encontrar a linha que maximize a separação entre classes.

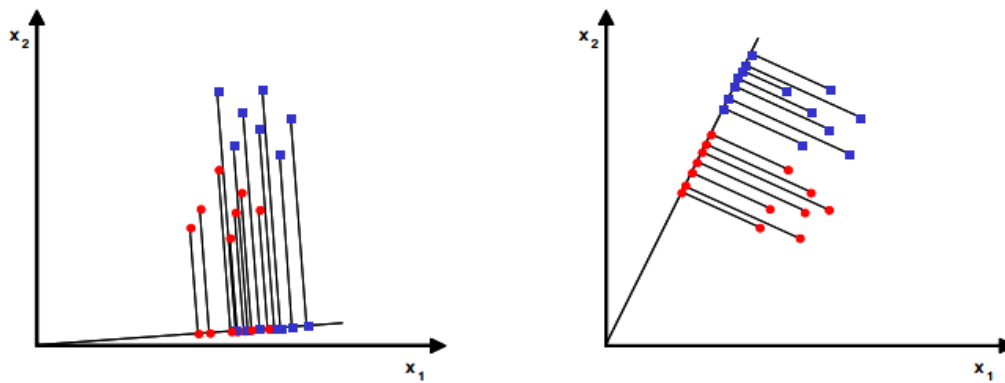


Figura 6.1: Projeção dos dados<sup>1</sup>

De forma a encontrar um bom vetor de projeção é necessário definir uma medida de separação. O cálculo do valor médio de cada classe é feito através duma média aritmética:

$$\mu_i = \frac{1}{N_i} \sum_{x \in w_i} x \quad (6.2)$$

E o cálculo da média da projeção é feito através da multiplicação da média aritmética com o vetor de transposição transposto:

$$\tilde{\mu}_i = W^T * \mu_i \quad (6.3)$$

Uma forma possível de definir a função objetivo seria através da diferença entre valores médios projetados.

$$J(w) = |\tilde{\mu}_1 - \tilde{\mu}_2| \quad (6.4)$$

<sup>1</sup>[http://research.cs.tamu.edu/prism/lectures/pr/pr\\_l10.pdf](http://research.cs.tamu.edu/prism/lectures/pr/pr_l10.pdf)

Contudo, a distância entre as médias projetadas não é uma forma de medição uma vez que não tem em conta os desvios padrões das classes.

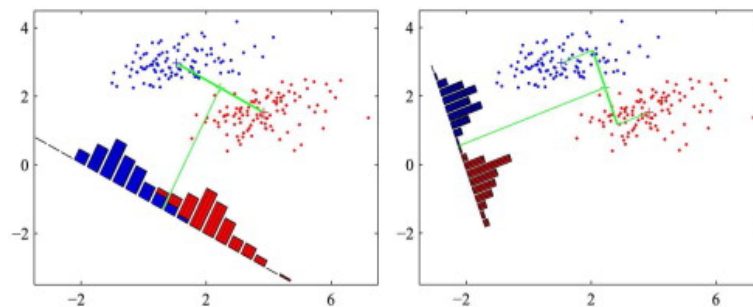


Figura 6.2: Sobreposição entre duas classes: a) não tendo em conta o desvio padrão b) tendo em conta o desvio padrão [94]

Tendo em conta o desvio padrão dos dados, o FLDA sugere maximizar a diferença entre médias projetadas normalizadas pela dispersão entre classe (*between-class scatter*).

Para cada classe, a dispersão é calculada da seguinte forma:

$$\tilde{s}_i^2 = \sum_{y \in W_i} (y - \tilde{\mu}_i)^2 \quad (6.5)$$

Desta forma, o FLDA é definida como a função linear  $W^T x$  que maximiza a função critério:

$$J(w) = \frac{|\tilde{\mu}_1 - \tilde{\mu}_2|}{\tilde{s}_1^2 + \tilde{s}_2^2} \quad (6.6)$$

Finalmente, depois de maximizada a função critério é possível calcular a direção de projeção ótima  $W$  que assegura que as amostras pertencentes a cada uma das duas classes estão o máximo possíveis separadas.

$$W = \frac{(\mu_1 - \mu_2)}{s_1 + s_2} \quad (6.7)$$

$$s_i = \sum_{x \in W_i} (x - \mu_i)(x - \mu_i)^T$$

Pelo que a projeção maximiza a distância entre as médias das duas classes enquanto minimiza a variância dentro de cada classe [94].

### 6.2.2 Naive Bayes Classifier

Este é um classificador probabilístico simples baseado na aplicação de teorema de Bayes com o pressuposto de independência condicional entre cada par de características [95]. Sendo  $Y$  a representação da variável da classe e assumindo que só existem duas classes  $y_1$  e  $y_2$ , e  $E = (x_1,$

$x_2, \dots, x_n$ ) um tuplo representativo das  $N$  caraterísticas extraídas onde  $x_i$  representa o valor da característica  $X_i$ . O teorema de Bayes afirma que:

$$P(y|E) = \frac{p(y) * p(E|y)}{p(E)} \quad (6.8)$$

Por isso pode-se afirmar que o tuplo de caraterísticas  $E$  pertence a classe  $y_1$  se a seguinte condição se verificar

$$f_b(E) = \frac{p(y = y_1|E)}{p(y = y_2|E)} \geq 1 \quad (6.9)$$

onde  $f_b$  é designado como um classificador de Bayes.

Assumindo agora que são mais de duas caraterísticas e utilizando o pressuposto de que todas as caraterísticas são independentes sabendo o valor da variável da classe:

$$p(E|y) = p(x_1, x_2, \dots, x_n|y) = \prod_{i=1}^n p(x_i|y) \quad (6.10)$$

Assim obtém-se o classificador final:

$$f_{nb}(E) = \frac{p(y = y_1)}{p(y = y_2)} = \frac{\prod_{i=1}^n p(x_i|y_1)}{\prod_{i=1}^n p(x_i|y_2)} \quad (6.11)$$

A função  $f_{nb}(E)$  é designada como um classificador ingénuo de Bayes (Naive Bayes Classifier). Este tipo de classificador é a forma mais simples de rede Bayesiana, uma vez que simplesmente assume que todos os atributos são independentes dado o valor da variável de classe (independência condicional).

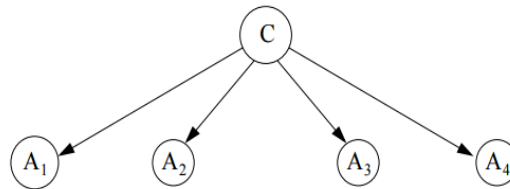


Figura 6.3: Exemplo da rede ingénuo de Bayes

A suposição de independência condicional raramente é verdade na maioria das aplicações do mundo real. Uma simples abordagem para superar a limitação é estender a sua estrutura para representar explicitamente as dependências entre os atributos.

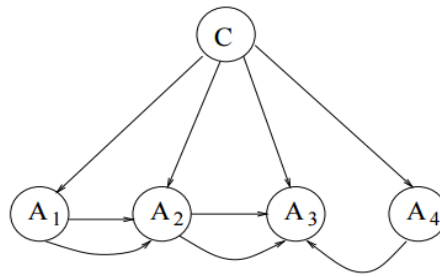


Figura 6.4: Exemplo da rede ingênua aumentada de Bayes

### 6.2.3 Support Vector Machines (SVM)

Máquinas de vetores de suporte (SVM) é um conjunto de métodos de aprendizagem supervisionadas que analisam os dados e reconhecem padrões, utilizados para a classificação e análise de regressão. O SVM é baseada no conceito de planos de decisão que definem limites de decisão, ou seja, o SVM encontra o melhor hiperplano que separa todos os pontos de uma classe de outra e classifica os dados consoante o hiperplano. O melhor hiperplano para o SVM é aquele que permite uma maior margem entre as duas classes. Os vetores de suporte são os pontos de dados que estão mais próximos do hiperplano que separa as classes e que se situam no limiar das margens, como se pode visualizar na figura 6.5.

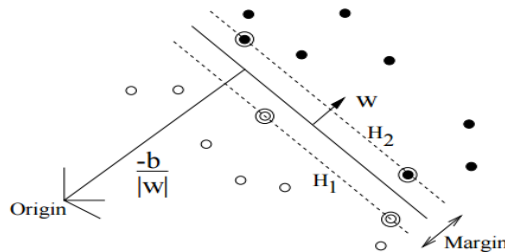


Figura 6.5: Separação Linear através de hiperplanos com os vetores de suporte circundados [96]

Quando as classes não são linearmente separáveis no espaço das características já não é possível encontrar um hiperplano que permita separar perfeitamente os pontos das duas classes. Nesse caso, utiliza-se no SVM uma margem suave, ou seja, um hiperplano que separa muitos, mas não todos os pontos de dados. O objetivo é fazer uma margem tão grande quanto possível e que ao mesmo tempo diminua, o quanto possível, o número de pontos mal classificados.

Desta forma, surge a necessidade de controlar os dois objetivos:

1. Maximizar a margem
2. Minimizar o número de classificações errados

É então adicionado um desconto à função objetivo para os casos de classificação errados, este desconto é controlado pelo parâmetro  $C$  (C-SVM).



As SVMs lineares são eficazes na classificação de conjuntos de dados linearmente separáveis ou que possuam uma distribuição aproximadamente linear, sendo que a versão de margens suaves tolera a presença de alguns ruídos e classificações erradas. Porém, há muitos casos em que não é possível dividir satisfatoriamente os dados de treino por um hiperplano, como se pode observar na figura seguinte [97].

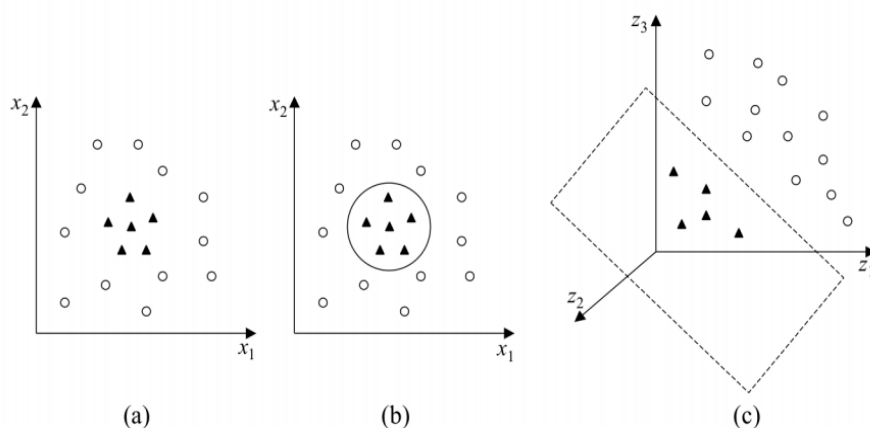


Figura 6.6: (a) Conjunto de dados não linear; (b) Fronteira não linear no espaço de entradas; (c) Fronteira linear no espaço de características

As SVMs lidam com problemas não lineares mapeando o conjunto de treino do seu espaço original, espaço das entradas, para um novo espaço de maior dimensão, denominado espaço das características. Logo, mapeia-se inicialmente os dados para um espaço de maior dimensões e aplica-se a SVM linear sobre este espaço, permitindo assim encontrar o hiperplano com maior margem de separação.

No entanto o espaço das características pode ter uma dimensão muito elevada e a computação do mapeamento pode ser bastante lento e custoso. Felizmente a metodologia do SVM tem uma propriedade elegante que permite o mapeamento implícito em espaços de elevada dimensão. Este método baseia-se na ideia de funções do kernel  $k(x, y)$ . Desta forma é possível obter o hiperplano num espaço de características [98]. Algumas funções kernel incluem polinómios ( $k(y, x) = (1 + (x, y)^d)$ , onde  $d$  representa a ordem do polinómio) ou funções de base radial ( $k(x, y) = \exp(-\gamma ||x - y||^2)$ ).

### 6.3 Base de Dados

Ambos os jogos foram utilizados por pacientes adquiridas no Hospital de São João. Na tabela 6.2 é demonstrada a base de dados dos jogadores adquiridos, onde o 1 representa a presença de dano e o 0 a ausência. Como se pode observar na Tabela 6.2, a base de dados é composta por 50 elementos, contudo, anteriormente, foi indicado que apenas 42 pacientes responderam ao inquérito. Isto ocorreu porque só pacientes adquiridas no Hospital de São João responderam ao inquérito, e as 8 pessoas que não responderam são jogadores adquiridos fora do Hospital.

Estes 8 elementos foram introduzidos na Base de Dados de forma a obter mais jogadores sem nenhuma restrição de mobilidade. Para além do Linfedema, apurou-se a condição do ombro/braço das pacientes através das categorias de Dor, Fraqueza ou Rigidez, através do questionário DASH (Anexo B).

Tabela 6.2: Base de dados das pacientes adquiridas no hospital

Nº Jogador	Linfedema	Dor	Fraqueza	Rigidez
1	0	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	1	1	1	1
5	0	1	0	0
6	0	0	0	0
7	0	1	1	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	1	0	0
12	0	0	1	0
13	0	0	0	0
14	1	1	1	1
15	0	0	0	0
16	0	0	1	0
17	1	1	1	1
18	1	0	0	0
19	0	1	0	0
20	0	1	1	0
21	0	0	0	1
22	1	1	1	1
23	0	0	0	0
24	0	1	0	0
25	0	1	1	1

Nº Jogador	Linfedema	Dor	Fraqueza	Rigidez
26	0	1	1	1
27	0	0	0	0
28	0	0	0	0
29	1	1	1	1
30	1	1	1	1
31	1	1	1	1
32	1	1	1	1
33	1	0	0	0
34	1	1	1	1
35	1	1	1	1
36	0	0	0	0
37	1	0	0	0
38	1	1	1	1
39	1	0	0	0
40	1	1	1	1
41	1	1	1	1
42	0	0	0	0
43	0	0	0	0
44	0	0	0	0
45	0	0	0	0
46	0	0	0	0
47	0	0	0	0
48	0	0	0	0
49	0	0	0	0
50	0	0	0	0

Ao analisar a Tabela 6.2 verifica-se que muitas pacientes não sofrem apenas de um dano, pelo que estas patologias estão de alguma forma relacionados. A Tabela 6.3 permite então, através dos dados da Tabela 6.2, ver a correlação entre os danos:

Tabela 6.3: Correlação entre Linfedema, Dor, Fraqueza e Rigidez

	Linfedema	Dor	Fraqueza	Rigidez
<b>Linfedema</b>	-	74%	78%	84%
<b>Dor</b>	74%	-	84%	82%
<b>Fraqueza</b>	78%	84%	-	90%
<b>Rigidez</b>	84%	82%	90%	-

Como se pode observar na tabela 6.4, dos 50 jogadores que realizaram o 1º jogo, o número de jogadores para cada restrição física foi bastante equilibrado.

Tabela 6.4: Condição física dos jogadores do 1º jogo

	Linfedema	Dor	Fraqueza	Rigidez	Sem nenhuma restrição
<b>Nº casos</b>	18	23	19	16	20

Embora o 1º jogo tenha sido realizado por todos as pacientes da tabela 6.2, em relação ao 2º jogo apenas 36 pacientes jogaram. Isto ocorreu porque o 1º foi finalizado antes do 2º, o que permitiu obter mais pacientes. De uma forma análoga ao 1º jogo, no 2º logrou-se de um número de jogadores em cada categoria bastante equilibrado.

Tabela 6.5: Condição física dos jogadores do 2º jogo

	Linfedema	Dor	Fraqueza	Rigidez	Sem nenhuma restrição
Nº casos	13	16	15	11	12

## 6.4 Modelos de Detecção Precoce de Linfedema, Dor, Rigidez e Fraqueza

Os modelos de classificação foram projetados tendo em conta as características determinadas no capítulo 5 e considerando todos os subconjuntos possíveis, através dum esquema LOO [93]. Os modelos foram treinados utilizando quatro resultados (linfedema, dor, rigidez, fraqueza) e foi calculada a taxa de erro. Os classificadores SVM foram treinados com funções *Kernel* lineares, quadráticas, polinomiais e radiais. Para todos estes casos foram testado com sequências exponenciais crescentes de  $C$ , desde  $C = 2^{-2}$  até  $C = 2^6$ . O *Kernel* polinomial pode variar entre ordem 2 a 6 enquanto que o *Kernel* radial foi testado com valores de  $\gamma = 0.25, 0.5, 0.75$  e 1.

### 6.4.1 Jogo 1

Na Tabela 6.6 é possível observar a lista de características extraídas definidas no Capítulo 5 para o 1º Jogo. Esta tabela também apresenta, para cada característica, o valor ideal, de acordo com os clínicos. A Tabela 6.7 demonstra os valores obtidos na extração de características pelos 50 jogadores adquiridos.

Tabela 6.6: Jogo 1: Lista de Características Extraídas

#	Característica	Movimento Ideal
1	Número de Movimentos	> 20
2	Abdução Média	> 60°
3	Adução Média	> 30°
4	Alcance Horizontal Máximo	> 120°
5	Alcance Horizontal Médio	> 90°
6	Flexão Média Lateral do Cotovelo	> 150°
7	Deslocamento Médio do Ombro	< 30°
8	Flexão Média	< 10°

Tabela 6.7: Jogo 1: Caraterísticas Extraídas

Paciente	1	2	3	4	5	6	7	8	Paciente	1	2	3	4	5	6	7	8
1	20	43	21	81	64	165	29	21	26	22	17	4	75	21	172	16	18
2	24	26	35	81	61	162	26	23	27	12	56	25	108	81	174	16	12
3	22	86	30	180	116	171	27	15	28	6	68	3	88	71	161	12	12
4	8	57	34	112	92	173	22	6	29	15	22	20	98	42	153	33	24
5	17	58	70	154	128	161	41	21	30	33	29	38	121	68	145	36	23
6	43	67	56	163	122	167	27	15	31	18	40	49	125	89	155	39	24
7	33	14	42	86	56	161	48	13	32	15	24	15	70	39	141	31	13
8	25	74	50	158	123	152	43	22	33	35	79	44	180	126	175	28	27
9	43	43	36	107	80	160	26	6	34	22	46	67	149	113	116	21	40
10	26	51	48	136	99	162	31	8	35	6	57	68	145	126	130	33	15
11	28	63	39	123	101	171	33	19	36	21	60	66	154	126	142	36	16
12	43	57	57	32	114	173	32	7	37	6	50	37	110	87	165	32	1
13	32	76	54	159	129	175	27	0	38	16	56	51	129	107	131	16	42
14	19	25	3	88	27	153	15	16	39	42	36	64	131	100	100	22	22
15	4	2	42	82	44	148	54	23	40	15	21	14	162	70	35	44	10
16	41	81	75	180	156	169	34	10	41	18	38	10	162	80	48	32	26
17	11	28	18	164	47	68	14	13	42	43	73	46	149	119	168	32	-3
18	50	57	27	118	84	171	27	10	43	13	81	64	162	145	169	44	13
19	18	58	73	149	131	159	36	17	44	17	65	45	133	110	169	42	18
20	31	50	72	145	122	155	33	34	45	36	61	66	162	127	167	27	1
21	36	67	34	121	101	156	14	29	46	29	71	40	147	112	170	43	-5
22	31	31	39	117	70	125	15	14	47	24	69	44	151	113	173	24	6
23	20	61	48	180	109	137	18	31	48	44	65	40	126	105	167	21	15
24	27	59	52	159	111	173	47	19	49	29	58	35	123	93	163	26	14
25	4	7	4	60	10	171	21	0	50	22	85	52	166	137	165	11	6

Para cada classificador, são apresentados os parâmetros e o conjunto de caraterísticas que permitem obter o melhor valor de taxa de erro. Esta taxa é obtida através da comparação dos valores obtidos pelo classificador com os valores de referência.

Em alguns modelos existe mais de um subconjunto de caraterísticas que obtiveram a mesma percentagem de erro. Para estes casos, optou-se sempre pelo modelo com menos complexidade. Também é possível consultar a matriz de confusão dos diferentes modelos, bem como a Precisão e Especificidade de cada matriz.

A Precisão e a Especificidade são definidos pelas equações 6.12 e 6.13, onde TP são os verdadeiros positivos, o FP são os falsos positivo e FN os falsos negativo [99].

$$Precisao(P) = \frac{TP}{TP + FP} \quad (6.12)$$

$$Especificidade(E) = \frac{TP}{TP + FN} \quad (6.13)$$

Considerando-se os resultados das Tabelas 6.8, 6.10, 6.12 e 6.14 é possível verificar que maioritariamente os melhores resultado são obtidos utilizando classificadores SVM. Era esperado um

melhor resultado com estes classificadores uma vez que este prova ser uma boa opção quando existe uma quantidade limitada de dados disponíveis.

Em relação a Especificidade e Precisão, é possível observar nas Tabelas 6.9, 6.11, 6.13 e 6.15 que para todos os modelos, a taxa de falsos positivos é muito baixa comparativamente aos verdadeiros positivos, o que permite obter grandes valores de Precisão. Ademais, estes modelos conseguem detetar a maioria das pacientes com dificuldades de mobilidade do braço. Contudo, também se pode observar que a maioria de erros de classificação ocorrem devido a falsos negativos o que baixa a percentagem de sucesso da Especificidade. No entanto estes resultados são bastante promissores e também é necessário ter em conta que algumas pacientes que apresentavam os sintomas de Linfedema, Dor, Rigidez e Fraqueza já se encontram a realizar fisioterapia o que lhes permitiu melhorar a mobilidade do ombro/braço.

Como se pode observar na Tabela 6.8, é possível verificar que o melhor resultado obtido, na deteção de linfedema, é com um erro de 0.12 para o classificador SVM Radial. Por outro lado o pior resultado é obtido com o LDA e NaiveBayes com uma taxa de erro de 0.20. Observando a lista de características que minimizam o erro para todos os classificadores, observa-se que a Flexão Média Lateral do Cotovelo (#6) aparece em todos os modelos exceto SVM polinomial. Esta característica já é utilizada no 1º jogo para verificar a qualidade do movimento realizado (ver figura 4.18).

Tabela 6.8: Resultados da classificação dos diferentes classificadores para Linfedema (Jogo 1)

Classificador	Kernel	C	Ordem	$\gamma$	MER	Caraterísticas
LDA	-	-	-	-	0.20	[6]
NaiveBayes	-	-	-	-	0.20	[2,6,7]
SVM	Linear	$2^{-2}$	-	-	0.16	[2,6], [3,6]
SVM	Quadrático	$2^{-2}$	-	-	0.14	[4,5,6]
SVM	Polinomial	$2^1$	3	-	0.16	[1,2]
SVM	Radial	$2^3$	-	0.75	0.12	[2,6]

Tabela 6.9: Matriz Confusão para Linfedema com SVM Radial (Jogo 1)

Previsão Verdade	Sem Linfedema	Com Linfedema
Sem Linfedema	30	2
Com Linfedema	4	14
Precisão	0.94	
Especificidade	0.77	

Na deteção de pacientes com Dor, verificou-se que qualquer um dos modelos apresentados na Tabela 6.10 apresenta um erro baixo, porém existem 4 modelos que permitem obter o melhor resultado. Uma vez que o LDA é mais simples que o SVM Linear, Quadrático e Radial, optou-se por escolher este modelo. Com este modelo conseguiu-se uma taxa de Especificidade superior a Precisão, como se pode observar na Tabela 6.11.

A característica mais comum usada em quase todos os modelos selecionados é a Abdução Média (#2). Esta característica aparece em todos os modelos exceto o SVM Linear. Tal como a característica de Flexão Média do Cotovelo (#6) obtida no modelo de detecção de Linfedema, a Abdução Média (#2) já é utilizada na pontuação do 1º jogo (ver figura 4.16).

Tabela 6.10: Resultados da classificação dos diferentes classificadores para Dor (Jogo 1)

Classificador	Kernel	C	Ordem	$\gamma$	MER	Caraterísticas
LDA	-	-	-	-	0.14	[1,2,4,6,8]
NaiveBayes	-	-	-	-	0.18	[2,6,8]
SVM	Linear	$2^4$	-	-	0.14	[1,3,4,5,8]
SVM	Quadrático	$2^{-1}$	-	-	0.14	[2,3,4,6]
SVM	Polinomial	$2^{-1}$	5	-	0.18	[2,3]
SVM	Radial	$2^2$	-	0.75	0.14	[2,8]

Tabela 6.11: Matriz Confusão para Dor com LDA (Jogo 1)

Previsão Referência	Sem Dor	Com Dor
Sem Dor	23	4
Com Dor	3	20
Precisão	0.85	
Especificidade	0.87	

Em relação aos resultados da detecção de Rigidez, é possível verificar que o desempenho dos classificadores é o que apresenta melhores resultados para o 1º jogo. Com apenas uma taxa de erro de 0.08 o SVM Radial é o melhor modelo. No entanto, todos os modelos apresentam excelentes resultados, sendo o pior modelo o LDA com uma taxa de erro de 0.16.

Contudo, os poucos erros obtidos são praticamente falsos negativos como se observa na Tabela 6.13, existindo apenas um falso positivo.

Tabela 6.12: Resultados da classificação dos diferentes classificadores para Rigidez (Jogo 1)

Classificador	Kernel	C	Ordem	$\gamma$	MER	Caraterísticas
LDA	-	-	-	-	0.16	[1,2,8]
NaiveBayes	-	-	-	-	0.14	[1,2,8]
SVM	Linear	$2^{-2}$	-	-	0.12	[2,6]
SVM	Quadrático	$2^{-1}$	-	-	0.12	[4,5,7]
SVM	Polinomial	$2^0$	4	-	0.14	[4,6]
SVM	Radial	$2^0$	-	0.75	0.08	[2,3,4,6]

Tabela 6.13: Matriz Confusão para Rigidez com SVM Radial (Jogo 1)

<b>Previsão</b> <b>Referência</b>	<b>Sem Rigidez</b>	<b>Com Rigidez</b>
<b>Sem Rigidez</b>	33	1
<b>Com Rigidez</b>	3	13
<b>Precisão</b>	0.97	
<b>Especificidade</b>	0.77	

Finalmente, os resultados dos modelos obtidos para Fraqueza são bastante semelhantes aos anteriores. Como se observa na Tabela 6.14 o pior modelo é o SVM polinomial com 0.16 de taxa de erro e o melhor resultados é obtido pelo SVM Linear e Radial com 0.12. O modelo escolhido foi o SVM Linear pela sua simplicidade em relação ao SVM Radial.

Tal como na deteção de Dor, a característica que surge em evidência é a Abdução Média (#2) dado que todos os modelos a utilizam para a deteção de Fraqueza.

Na Tabela 6.15 é possível observar que a Precisão e Especificidade são bastante semelhantes, obtendo-se o mesmo número de falsos positivos e falsos negativos.

Tabela 6.14: Resultados da classificação dos diferentes classificadores para Fraqueza (Jogo 1)

<b>Classificador</b>	<b>Kernel</b>	<b>C</b>	<b>Ordem</b>	$\gamma$	<b>MER</b>	<b>Caraterísticas</b>
LDA	-	-	-	-	0.14	[1,2,6]
NaiveBayes	-	-	-	-	0.14	[1,2,6]
SVM	Linear	$2^{-2}$	-	-	0.12	[1,2,3,6,7]
SVM	Quadrático	$2^{-2}$	-	-	0.14	[2,6,8]
SVM	Polinomial	$2^2$	6	-	0.16	[2,3]
SVM	Radial	$2^1$	-	1	0.12	[2,7,8]

Tabela 6.15: Matriz Confusão para Fraqueza com SVM Linear (Jogo 1)

<b>Previsão</b> <b>Referência</b>	<b>Sem Fraqueza</b>	<b>Com Fraqueza</b>
<b>Sem Fraqueza</b>	28	3
<b>Com Fraqueza</b>	3	16
<b>Precisão</b>	0.90	
<b>Especificidade</b>	0.84	

### 6.4.2 Jogo 2

Na Tabela 6.16 é possível observar a lista de caraterísticas determinadas, no capítulo 5, para o 2º jogo. Esta tabela também indica qual o valor ideal esperado para cada uma destas caraterísticas, de acordo com os clínicos. Na Tabela 6.17 é possível analisar as caraterísticas extraídas aos 36 jogadores. O facto do 2º jogo ter sido realizado por um menor número de utilizadores dificultou a criação dos modelos.

Tabela 6.16: Jogo 2: Lista de Caraterísticas Extraídas

#	Característica	Movimento Ideal
1	Flexão Máxima do Cotovelo	< 40°
2	Deslocamento Médio do Ombro (Movimento 1)	<30°
3	Flexão Lateral Média do Cotovelo	>150°
4	Alcance Vertical Médio	> 35°
5	Alcance Horizontal Médio	>45°
6	Flexão Média do Cotovelo	> 150°
7	Flexão Máxima	> 55°
8	Deslocamento Médio do Ombro (Movimento 3)	< -25°

Tabela 6.17: Jogo 2: Caraterísticas Extraídas

Paciente	1	2	3	4	5	6	7	8	Paciente	1	2	3	4	5	6	7	8
5	2	37	91	39	65	170	89	-19	30	24	45	157	24	57	170	62	-27
6	32	22	150	61	59	173	72	3	31	14	29	139	58	55	170	60	-26
7	60	37	156	34	32	176	44	-28	32	2	60	148	21	43	173	40	-14
8	6	56	125	44	27	147	67	-20	33	18	38	146	56	66	168	83	15
10	40	21	107	48	56	164	53	-41	34	26	26	114	23	56	166	55	-28
11	64	5	153	76	63	169	41	-35	36	28	56	129	36	56	173	61	-10
12	23	28	166	36	44	176	57	-21	38	47	27	96	39	48	174	55	-19
15	53	62	147	45	47	168	90	-30	39	11	52	100	16	52	165	82	10
16	47	15	164	49	48	165	54	-40	40	31	46	159	31	28	176	45	-21
17	54	37	129	47	40	169	33	-39	41	45	23	135	31	44	171	65	-21
18	51	35	160	45	42	177	33	-20	43	14	26	159	56	58	167	61	-36
19	18	20	90	72	33	167	51	-30	44	25	43	160	35	67	177	59	-32
20	37	31	160	23	30	175	55	-29	45	22	16	159	21	49	143	56	-39
21	42	41	118	40	74	171	72	-16	46	2	50	151	37	41	170	47	-38
22	45	42	167	27	28	-	-	-	47	25	36	150	46	38	159	56	-38
23	33	53	152	35	39	171	69	-7	48	49	11	139	24	47	172	58	-27
24	39	36	143	30	67	177	62	-30	49	22	45	153	28	38	171	58	-35
29	34	40	153	18	21	-	-	-	50	17	20	168	47	46	179	58	-22

Tal como no 1º jogo, através das caraterísticas extraídas tentou-se obter o melhor modelo para as classes de Linfedema, Dor, Fraqueza e Rigidez. Como se pode verificar nas tabelas 6.18, 6.20, 6.22 e 6.24 os modelos obtidos tem uma taxa de erro ligeiramente maior que os modelos anteriormente apresentados.

Como se pode observar na Tabela 6.18, é possível detetar a presença de Linfedema com uma taxa de erro de 0.17 através do SVM Radial. Observando todas as caraterísticas utilizadas pelos modelos verifica-se que quase todos os modelos obtidos utilizam a Flexão máxima (#7). Esta caraterística já é utilizada no 2º jogo (ver figura 4.39) de forma a avaliar o movimento do jogador.



Mesmo com o aumento da taxa de erro em relação ao 1º jogo, este modelo permitiu aumentar a Especificidade em 8%. Observando a Tabela 6.19 verifica-se que o número de falsos negativos é bastante baixa.

Tabela 6.18: Resultados da classificação dos diferentes classificadores para Linfedema (Jogo 2)

Classificador	Kernel	C	Ordem	$\gamma$	MER	Caraterísticas
LDA	-	-	-	-	0.22	[7,8]
NaiveBayes	-	-	-	-	0.28	[4,7]
SVM	Linear	$2^{-2}$	-	-	0.22	[3,7]
SVM	Quadrático	$2^{-1}$	-	-	0.22	[1,7,8]
SVM	Polinomial	$2^{-1}$	3	-	0.19	[2,4,5]
SVM	Radial	$2^3$	-	0.75	0.17	[6,7,8]

Tabela 6.19: Matriz Confusão para Linfedema com SVM Radial (Jogo 2)

Previsão Verdade	Sem Linfedema	Com Linfedema
Sem Linfedema	19	4
Com Linfedema	2	11
Precisão	0.83	
Especificidade	0.85	

No caso da deteção de pacientes com Dor, observou-se também um decréscimo em relação ao 1º jogo. Contudo utilizando o SVM Quadrático consegue-se uma taxa de erro de apenas 0.14.

Analisando a Tabela 6.21 observa-se que existe apenas um falso negativo, o que se traduz numa taxa de Especificidade bastante elevada.

Tabela 6.20: Resultados da classificação dos diferentes classificadores para Dor (Jogo 2)

Classificador	Kernel	C	Ordem	$\gamma$	MER	Caraterísticas
LDA	-	-	-	-	0.30	[6,7]
NaiveBayes	-	-	-	-	0.28	[3,4,7]
SVM	Linear	$2^1$	-	-	0.25	[3,6,7]
SVM	Quadrático	$2^{-1}$	-	-	0.14	[2,3,4,6,8]
SVM	Polinomial	$2^{-1}$	4	-	0.19	[2,7,8]
SVM	Radial	$2^5$	-	0.5	0.19	[1,6,8]

Tabela 6.21: Matriz Confusão para Dor com SVM Quadrático (Jogo 2)

<b>Previsão</b> <b>Verdade</b>	<b>Sem Dor</b>	<b>Com Dor</b>
<b>Sem Dor</b>	16	4
<b>Com Dor</b>	1	15
<b>Precisão</b>	0.8	
<b>Especificidade</b>	0.94	

Em relação aos resultados da detecção da Rigidez, é possível observar que o modelo apresentado com SVM radial exibe uma taxa de erro de apenas 0.11. Os resultados obtidos pelos modelos da Tabela 6.22 são os que apresentam menor taxa de erro, para o 2º jogo. Analisando a Tabela 6.23 verifica-se que o número de falsos negativos e falsos positivos é igual, contudo a Especificidade é inferior à Precisão ao contrário dos modelos para detecção de Linfedema e Dor (Tabelas 6.19 e 6.21).

Tabela 6.22: Resultados da classificação dos diferentes classificadores para Rigidez (Jogo 2)

<b>Classificador</b>	<b>Kernel</b>	<b>C</b>	<b>Ordem</b>	$\gamma$	<b>MER</b>	<b>Caraterísticas</b>
LDA	-	-	-	-	0.25	[7,8]
NaiveBayes	-	-	-	-	0.25	[7]
SVM	Linear	$2^{-2}$	-	-	0.22	[7]
SVM	Quadrático	$2^2$	-	-	0.14	[2,3,4,8]
SVM	Polinomial	$2^2$	3	-	0.17	[1,4,8]
SVM	Radial	$2^2$	-	1	0.11	[2,3,6,7,8]

Tabela 6.23: Matriz Confusão para Rigidez com SVM Radial (Jogo 2)

<b>Previsão</b> <b>Verdade</b>	<b>Sem Rigidez</b>	<b>Com Rigidez</b>
<b>Sem Rigidez</b>	23	2
<b>Com Rigidez</b>	2	9
<b>Precisão</b>	0.92	
<b>Especificidade</b>	0.82	

Finalmente, examinando a Tabela 6.24, constata-se que os melhores modelos são o SVM quadrático e radial com uma taxa de erro de 0.19. Uma vez que o SVM quadrático é mais simples optou-se por este modelo. A Tabela 6.25 demonstra que a Precisão e Especificidade deste modelo são bastante equilibradas.

Tabela 6.24: Resultados da classificação dos diferentes classificadores para Fraqueza (Jogo 2)

Classificador	Kernel	C	Ordem	$\gamma$	MER	Caraterísticas
LDA	-	-	-	-	0.30	[1,7]
NaiveBayes	-	-	-	-	0.30	[1,2,5,8]
SVM	Linear	$2^{-1}$	-	-	0.28	[1,7]
SVM	Quadrático	$2^1$	-	-	0.19	[1,5,6,7,8]
SVM	Polinomial	$2^{-1}$	3	-	0.22	[1,5,6,7,8]
SVM	Radial	$2^3$	-	0.5	0.19	[4,5,6,8]

Tabela 6.25: Matriz Confusão para Fraqueza com SVM Quadrático (Jogo 2)

Previsão Verdade	Sem Fraqueza	Com Fraqueza
Sem Fraqueza	17	4
Com Fraqueza	3	12
Precisão	0.81	
Especificidade	0.80	

## 6.5 Conclusão

Através de uma avaliação subjetiva foi possível obter a opinião do público alvo relativamente aos dois sistemas. Esta avaliação permitiu compreender que para alguns jogadores os jogos pedem demasiado esforço no braço/ombro. No entanto todas as categorias obtiveram uma avaliação positiva.

Utilizando as caraterísticas extraídas no capítulo anterior e usando diferentes algoritmos de classificação (LDA, Naive Bayes e SVMs) para treinar e testar com todos os possíveis subconjuntos de caraterísticas (utilizando um esquema LOO) foi possível explorar todas as possibilidades e comparar performances de forma a obter os melhores modelos para deteção de Linfedema, Dor, Rigidez e Fraqueza.

Os melhores resultados foram maioritariamente verificados com SVMs, de *Kernel* Linear, Quadrático e Radial. Os resultados obtidos são bastante positivos, com uma taxa de erro a variar entre 0.08 a 0.14 no 1º jogo e 0.11 a 0.19 no 2º jogo. Como não existem trabalhos semelhante na literatura não é possível comparar estes resultados, no entanto os resultados são muito promissores. Não obstante, num trabalho futuro, seria importante aumentar a Especificidade do presente modelo de previsão de forma a diminuir as classificações de falsos negativos, e a criação de um modelo global, ao invés da utilização de 4 modelos em separado para cada estado (Linfedema, Dor, Fraqueza e Rigidez).

Pelo que se pode concluir que os dois sistemas criados parecem ser adequados para a avaliação do estado funcional e da mobilidade do braço/ombro, contudo ambos os sistemas criados ainda poderão ser aperfeiçoados, de forma a melhorar o seu desempenho/eficácia.

## Capítulo 7

### Conclusão

No tratamento do cancro da mama, para além da remoção cirúrgica do tumor, é utilizada uma terapia de radiação para erradicar possíveis células cancerosas remanescentes. Para além disso, por vezes é necessário remover os nós linfáticos da axila por ALND. Estes procedimentos podem causar sérios danos no sistema linfático da axila, como por exemplo a interrupção da drenagem linfática. Isto resulta na acumulação de fluido linfático no tecido subcutâneo do braço, o que provoca uma diminuição da distensibilidade do tecido em torno das articulações e aumento do volume do membro. Por conseguinte, pode ocorrer uma diminuição da mobilidade e edema no braço. Estas morbididades interferem nas atividades diárias de vida das mulheres e são uma fonte de redução da qualidade de vida. Embora o linfedema influencie a qualidade de vida, não existe um padrão clínico para o diagnóstico. Existem diversas técnicas que utilizam a comparação do volume do membro colateral e homolateral como o deslocamento de água e medidas de circunferências de forma a detetar Linfedema. Outra forma de se detetar Linfedema é através da avaliação funcional do membro. Normalmente é utilizado o goniômetro para medir os ângulos de abdução/adução, extensão e flexão. No entanto, todos os métodos utilizados são lentos, absorvem recursos e tempo aos clínicos, não são práticos e o seu uso incorreto limita a sua precisão.

Existem diversas formas de realizar o tratamento de linfedema como compressão, massagens e liposucção. Contudo se a paciente não realizar fisioterapia o membro retorna ao seu estado inicial, pelo que a solução passa pela realização de um conjunto de exercícios indicados à condição da paciente e pela utilização de mangas de compressão. Desta forma, pacientes operadas ao cancro da mama são aconselhadas a realizar um conjunto de exercícios que devem ser executados em casa. No entanto, as pacientes nem sempre executam-nos, ou por falta de motivação, ou realizam-nos de forma errada. Daí surge a necessidade de uma solução que permita a deteção precoce de malefícios, como Linfedema, Dor, Rigidez ou Fraqueza, e que permita a realização de exercícios de forma apropriada, prevenindo prejuízos a longo prazo.

Vários trabalhos estudam a aplicação de tecnologias 3D para rastreamento do movimento humano. No entanto, a maioria dos métodos propostos têm alto custo, complexidade e não são adequados para utilização clínica. Contudo, o Kinect consegue ser uma opção barata e portátil. Os resultados obtidos, no rastreamento de pessoas, por este sistema são comparáveis aos sistemas

de câmara 3D. O principal objetivo desta pesquisa foi o estudo de um sistema, que utilize o Kinect e que permita realizar o diagnóstico de imparidades no ombro/braço e ao mesmo tempo permita reabilitar o membro.

O primeiro passo deste trabalho foi o desenvolvimento de um jogo que permitisse ao utilizador realizar um movimento específico e avaliar em tempo real a execução deste, ao mesmo tempo que o jogador realiza o jogo, o software grava a posição das articulações do esqueleto do jogador para uma análise futura.

De forma a motivar os jogadores para a realizar os exercícios, o primeiro jogo consiste em recriar o ambiente de uma sala de estar com uma tábua de passar a ferro e tem como objetivo simular a atividade de passar a ferro através de um movimento realizado em sessões de fisioterapia: abdução/adução horizontal. Usando os dados do esqueleto do utilizador, gravados durante o jogo, foi possível obter um conjunto de características do movimento executado por cada jogador. Com estas características foi possível testar o comportamento de vários algoritmos de aprendizagem (LDA, Naive Bayes e SVMs), a fim de construir um modelo de classificação que permita detetar precocemente Linfedema.

No entanto, de forma a obter outras características, realizou-se um segundo jogo que envolveu três movimentos: flexão do cotovelo, circundação e flexão do ombro. O ambiente do jogo retrata um quintal com um tanque e um estendal e o objetivo do jogo é pegar na roupa suja, lavá-la e estendê-la. Porém, devido ao número de movimentos necessários realizar, algumas pacientes com reduzida mobilidade não o conseguiram concluir.

Uma vez que não houve tempo suficiente, não foi possível observar os efeitos da utilização recorrente dos dois jogos. No entanto, com a utilização das características determinadas é possível observar a eficiência de deteção precoce de Linfedema. O melhor desempenho foi obtido utilizando o classificador SVM, com um erro de erro de classificação de 0.12 no 1º jogo e 0.17 no 2º jogo. Portanto, estes resultados demonstram que a metodologia proposta é eficiente na avaliação do estado funcional da parte superior do corpo. Contudo, estes jogos também podem ser utilizados para pacientes que sofram de Dor, Rigidez e Fraqueza, uma vez que estes estados estão fortemente relacionados entre si. Desta forma foram criados modelos para cada um destes estados, obtendo-se uma taxa de erro semelhante à obtida por pacientes com Linfedema, validando assim este sistema, não só para pacientes com Linfedema, mas também para pacientes que necessitam de reabilitar o braço/ombro.

## 7.1 Trabalho Futuro

Nesta pesquisa, obtiveram-se resultados muito promissores, e satisfatórios, na deteção precoce dos quatro estados {Linfedema, Dor, Rigidez, Fraqueza}. Para além dos resultados de eficácia, a opinião do utilizador em relação aos jogos foi muito positiva, indicando uma disponibilidade da parte das pacientes para a sua utilização em casa. Todavia, ainda se poderá realizar algumas melhorias, a saber:

1. Enriquecer a base de dados com um conjunto de dados mais diversificados. Desta forma será possível testar a viabilidade do método proposto em todo o tipo de pacientes.
2. Criação de um avatar nos jogos, desta forma o jogador teria a noção da posição de todo o corpo. Para além do avatar, seria importante indicar ao jogador, antes do início do jogo, a posição onde deve-se colocar de forma a realizar o jogo sem complicações.
3. Alterar as heurísticas criadas para os dois jogos, de forma a ter mais em conta as características realçadas pelos modelos obtidos com os diversos classificadores.
4. Analisar mais características de forma a obter um modelo com uma taxa de erro inferior às alcançadas e uma diminuição da deteção de falsos negativos. Para além da obtenção de novas características, seria interessante obter um modelo de classificação da funcionalidade do braço através de uma classificação das respostas obtidas no inquérito DASH [100]
5. Realização de mais jogos com mais exercícios e que permitisse avaliar outras características.
6. Criação de um único modelo de deteção de Linfedema, Dor, Rigidez e Fraqueza, ao contrário da utilização dos quatro modelos encontrados.



# Anexo A

## Inquérito de Satisfação dos Utilizadores

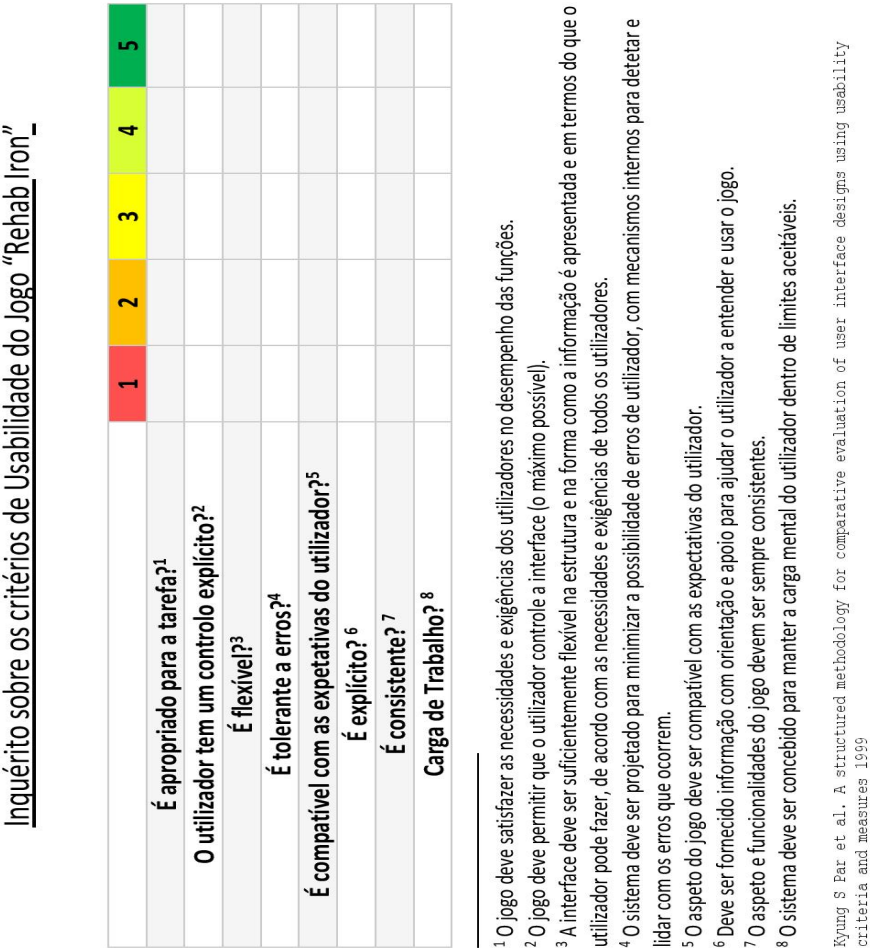


Figura A.1: Inquérito de Satisfação [91]





## Anexo B

# Inquérito Dash

Figura B.1: Inquérito DASH

DISABILITIES OF THE ARM, SHOULDER AND HAND					
Por favor, classifique a sua capacidade para desempenhar as actividades seguintes na <u>última semana</u> , fazendo um círculo à volta do número à frente da resposta adequada.					
	NENHUMA DIFICULDADE	POUCA DIFICULDADE	ALGUMA DIFICULDADE	MUITA DIFICULDADE	INCAPAZ
1. Abrir um frasco novo ou com tampa bem fechada.	1	2	3	4	5
2. Escrever.	1	2	3	4	5
3. Rodar uma chave na fechadura.	1	2	3	4	5
4. Preparar uma refeição.	1	2	3	4	5
5. Abrir e empurrar uma porta pesada.	1	2	3	4	5
6. Colocar um objecto numa prateleira acima da cabeça.	1	2	3	4	5
7. Realizar tarefas domésticas pesadas (por exemplo: lavar paredes, lavar o chão).	1	2	3	4	5
8. Fazer jardinagem ou trabalhar no quintal.	1	2	3	4	5
9. Fazer a cama.	1	2	3	4	5
10. Carregar um saco de compras ou uma pasta.	1	2	3	4	5
11. Carregar um objecto pesado (mais de 5 kg).	1	2	3	4	5
12. Trocar uma lâmpada acima da cabeça.	1	2	3	4	5
13. Lavar a cabeça ou secar o cabelo.	1	2	3	4	5
14. Lavar as costas.	1	2	3	4	5
15. Vestir uma camisola.	1	2	3	4	5
16. Usar uma faca para cortar alimentos.	1	2	3	4	5
17. Actividades de lazer que requerem pouco esforço (por exemplo: jogar às cartas, fazer tricô, etc.).	1	2	3	4	5
18. Actividades de lazer que exijam alguma força ou provoquem algum impacto no braço, ombro ou mão (por exemplo: golfe, martelar, ténis, etc.).	1	2	3	4	5
19. Actividades de lazer, nas quais movimentam o braço livremente (por exemplo: jogar ao disco, jogar badminton, etc.).	1	2	3	4	5
20. Utilizar meios de transporte para se deslocar (de um lugar para o outro).	1	2	3	4	5
21. Actividades sexuais.	1	2	3	4	5

# DISABILITIES OF THE ARM, SHOULDER AND HAND

	NÃO AFECTOU NADA	AFECTOU POUCO	AFECTOU	AFECTOU MUITO	INCAPACITOU
22. Em que medida é que, na última semana, o seu problema no braço, ombro ou mão afectou as suas actividades sociais habituais com a família, os amigos, os vizinhos ou outras pessoas? (Faça um círculo à volta do número)	1	2	3	4	5
23. Em que medida é que, na última semana, o seu problema no braço, ombro ou mão o limitou no trabalho ou noutras actividades diárias? (Faça um círculo à volta do número)	1	2	3	4	5

Por favor, classifique a gravidade dos sintomas seguintes na última semana. (Faça um círculo à volta do número)

	NENHUMA	POUCA	ALGUMA	MUITA	EXTREMA
24. Dor no braço, ombro ou mão.	1	2	3	4	5
25. Dor no braço, ombro ou mão ao executar uma actividade específica.	1	2	3	4	5
26. Dormência (formigueiro) no braço, ombro ou mão.	1	2	3	4	5
27. Fraqueza no braço, ombro ou mão.	1	2	3	4	5
28. Rigidez no braço, ombro ou mão.	1	2	3	4	5

	NENHUMA DIFICULDADE	POUCA DIFICULDADE	ALGUMA DIFICULDADE	MUITA DIFICULDADE	TANTA DIFICUL- DADE QUE NÃO CONSIGO DORMIR
29. Na última semana, teve dificuldade em dormir, por causa da dor no braço, ombro ou mão? (Faça um círculo à volta do número)	1	2	3	4	5

	DISCORDO TOTALMENTE	DISCORDO	NEM CONCORDO NEM DISCORDO	CONCORDO	CONCORDO TOTALMENTE
30. Sinto-me menos capaz, menos confiante ou menos útil por causa do meu problema no braço, ombro ou mão. (Faça um círculo à volta do número)	1	2	3	4	5

PONTUAÇÃO DASH INCAPACIDADES/SINTOMAS =  $\frac{[(\text{soma de n respostas}) - 1] \times 25}{n}$ , onde n é igual ao número de respostas válidas.

Não se pode calcular uma pontuação DASH se existirem mais de 3 itens não válidos.

## Anexo C

# Protocolo de Aquisição

### C.1 Kinect

A Kinect tem uma câmara RGB e um sensor de profundidade constituído por um projetor e uma câmara infravermelha. A câmara de vídeo utiliza uma resolução VGA com 8 bits (640x480 pixels), porém o hardware suporta até uma resolução até 1280x1024 (a uma frequência de amostragem menor). O sensor de profundidade é monocromático e tem uma resolução VGA (640x480 pixels) onde cada pixel tem 11 bits o que permite ter uma sensibilidade de 2048 níveis ( $2^8$ ). Tanto a câmara de cor como a de profundidade trabalham a uma frequência de amostragem de 30 imagens por segundo.

#### C.1.1 Requerimentos do Hardware

O sensor deve ser ligado a um computador com os seguintes requerimentos:

1. Windows 7, Windows 8, Windows Embedded Standard 7 ou Windows Embedded POSReady 7
2. Processador de 32 bits (x86) ou 64 bits (x64)
3. Processador Dual-core 2.66-GHz no mínimo
4. USB 2.0
5. 2 GB RAM
6. Microsoft Kinect Software Development Kit (SDK) ou Kinect Runtime

#### C.1.2 Limites

O sensor é baseado em lentes óticas e tem algumas limitações, mas funciona bem sob as seguintes gamas (tudo a partir do centro do Kinect):

1. Ângulo de visão horizontal: 57

2. Ângulo de visão vertical:  $43^{\circ}$
3. Distância do utilizador: 1.2m até 4m
4. Intervalo de profundidade: 0.4m até 8m
5. Temperatura: 5 até 35 graus Celsius
6. Ângulo de elevação do motor do sensor:  $-27$  até  $+27$ .

### **C.1.3 Juntas do Esqueleto**

A informação de profundidade pode ser utilizada para detetar a presença de seres humanos que se encontram em frente do sensor. O Seguimento do esqueleto é otimizado para reconhecer utilizadores, contudo algumas poses podem levantar alguns problemas.

1. Um esqueleto contém 20 articulações;
2. A posição 3D de cada uma das articulações do esqueleto são armazenados como coordenadas(  $x$  ,  $y$  ,  $z$  ).
3. Cada coordenada  $x$  ,  $y$  e  $z$  representa a distância em metros a partir do sensor.
4. No modo padrão (esqueleto completo) o Kinect rastreia as 20 articulações.
5. No modo sentado a Kinect rastreia apenas as 10 articulações da parte superior do corpo.
6. A colocação do Kinect sobre uma superfície que não está nivelado pode gerar esqueletos inclinados inclinar-se em vez de se encontrarem na posição vertical.

### **C.1.4 Posição**

1. O sensor deve ser colado entre 1m a 1,8m a frente do utilizado e a uma distância de 0,6m até 1,8m do chão (dependendo do tamanho do utilizador) e sem nada entre o sensor e o utilizador.
2. Apenas deve ser detetado o paciente em todo o alcance do sensor.
3. Nada deve impedir que o sensor se incline automaticamente para cima ou para baixo.
4. O sensor não deve ser colocado sobre ou na frente de um altifalante ou sobre uma superfície que vibra ou faz barulho.

### **C.1.5 Parâmetros de Aquisição**

1. Tanto as imagens de cor como de profundidade são tiradas exatamente ao mesmo tempo.
2. A resolução de ambas as câmaras é de 640x480 pixels.
3. Ambas as câmaras têm uma frequência de amostragem de 30 imagens por segundo.

### C.1.6 Ambiente do Espaço de Aquisição

1. A Kinect funciona com todas as iluminações possíveis (mesmo que seja sem luz), no entanto funciona melhor com luz moderada do que em estado direto com a luz do sol ou a iluminação de espectro completo. Dessa forma o espaço deve ter luz suficiente para que a cara do paciente seja visível e uniformemente iluminada. A iluminação de fundo, especialmente a partir de uma janela, deve ser evitada .
2. Idealmente, a luz deve vir de trás do sensor.
3. O rastreamento de esqueleto é menos confiável com grandes quantidades de luz natural.

## C.2 Paciente

1. Os pacientes precisam de ter pelo menos 1 m de altura.
2. A aquisição será tomada quando cada paciente está de pé.
3. O paciente deve manter os membros superiores no plano coronal.

## C.3 Dados

O Kinect, juntamente com o SDK, é utilizado a fim de reunir as informações sobre as juntas do paciente. Todos os dados sobre as juntas do paciente são guardadas através da criação de um arquivo .csv que é composto pelas coordenadas tridimensionais de cada junta.

### C.3.1 Organização dos Ficheiros

Todos os dados coletados são armazenados numa pasta com o nome *PatientXXData<sub>yyyy-mm-dd-hh-mm-ss</sub>skeletonPositionDataMeters*, onde XX representa o número do paciente e yyyy-mm-dd-hh-mm-ss representa respetivamente o ano, mês, dia, hora, minutos e segundos.

Para além do ficheiro com os dados em metros de todas as juntas no eixo X,Y,Z existe um ficheiro de configuração config.txt que guarda as preferências do utilizador.

#### C.3.1.1 .csv

1. A primeira coluna do ficheiro .csv contem o tempo da aquisição das posições da conjuntas.
2. Na primeira linha do ficheiro .csv está listado o nome de cada junta. Na segunda linha está presente o cabeçalho das coordenadas ( x, y, z).



## Anexo D

# Resultados Jogo

Tabela D.1: Jogo 2: Resultados Jogo 2

Paciente	Tempo	Pontuação	Movimento 1	Movimento 2	Movimento 3
5	240	185	28	6	89
6	157	397	49	7,67	79
7	122	427	59	9,67	58
8	141	507	6	7	70
10	85	394	24	5	55
11	84	384	40	6,33	58
12	87	448	22	6,67	57
15	197	359	55	7	83
16	86	475	47	10	67
17	124	469	32	8,33	72
18	58	428	36	7,33	63
19	88	460	22	7	59
20	140	384	44	6,67	55
21	70	490	42	10	72
22	140	40	45	1	0
23	162	502	34	9,67	68
24	96	501	38	10	62
29	240	36	69	3	0
30	118	397	33	6	60
31	198	507	26	9	56
32	240	117	38	5	40
33	104	562	18	10	81
34	200	508	26	9	55
36	73	499	32	9,33	61
38	108	476	46	10	55
39	124	481	25	8	82
40	309	256	37	7,5	42
41	240	220	45	5	63
43	50	574	14	10	61
44	93	515	33	10	59
45	88	540	25	10	68
46	89	560	18	10	75
47	75	510	25	9	56
48	97	347	59	7	56
49	108	457	53	10	56
50	70	556	16	9,67	55



Tabela D.2: Jogo 1: Resultados Jogo 1

Paciente	Resultado	Porcentagem	NºMovimentos	Abdução	Adução	Flexão
1	96	43	15	43	23	18
2	60	50	8	27	41	21
3	185	65	19	86	22	17
4	94	78	8	57	29	6
5	160	71	15	53	79	15
6	485	83	39	72	57	14
7	242	62	26	16	50	12
8	127	71	12	88	57	17
9	434	76	38	44	38	4
10	250	79	21	50	50	8
11	309	76	27	63	40	19
12	559	89	42	58	57	7
13	453	97	31	73	54	1
14	30	33	6	38	4	11
15	23	38	4	20	90	25
16	483	81	40	64	75	15
17	32	36	6	41	18	12
18	540	77	47	60	29	8
19	185	73	17	58	73	18
20	236	52	30	50	72	30
21	320	59	36	67	34	29
22	36	48	5	45	31	14
23	100	67	10	79	55	25
24	265	74	24	63	58	19
25	0	0	0	0	0	0
26	24	40	20	40	4	15
27	90	86	7	68	68	13
28	76	72	7	71	27	14
29	43	48	6	36	33	17
30	180	55	22	29	46	17
31	115	51	15	42	59	19
32	19	32	4	34	18	9
33	338	66	34	45	78	28
34	42	31	9	53	40	30
35	32	71	3	60	40	14
36	182	61	20	48	72	13
37	60	80	5	50	47	3
38	90	46	13	54	42	30
39	71	53	9	40	43	9
40	33	55	4	33	18	7
41	56	27	14	47	15	26
42	599	95	42	65	46	3
43	140	85	11	83	64	14
44	181	75	16	69	45	20
45	496	94	35	61	63	3
46	348	89	26	81	36	3
47	314	91	23	70	41	5
48	524	81	43	66	40	16
49	318	76	28	60	35	15
50	345	92	25	83	53	5

## Anexo E

# Respostas ao Questionário de Satisfação

Tabela E.1: Resposta ao Questionário

Questão nº Paciente	1	2	3	4	5	6	7	8
1	4	4	4	4	4	4	4	4
2	3	2	5	5	5	4	3	3
3	3	2	3	4	4	2	3	1
4	4	4	5	4	5	5	4	4
5	4	3	4	4	4	3	3	3
6	4	4	4	4	4	4	5	5
7	5	4	4	4	5	4	4	4
8	5	4	4	4	4	4	4	3
9	4	3	4	4	3	4	3	3
10	3	4	4	4	3	3	4	4
11	4	4	4	4	4	4	4	4
12	4	3	4	5	4	5	3	4
13	5	3	4	5	5	5	4	4
14	4	3	5	3	4	3	3	4
15	5	5	5	5	5	5	5	5
16	3	2	2	3	4	2	2	3
17	3	5	4	4	4	5	5	4
18	4	5	5	3	4	4	4	5
19	4	4	4	4	5	5	5	4
20	4	4	4	3	5	5	5	5
21	4	5	5	5	5	5	5	5

Questão nº Paciente	1	2	3	4	5	6	7	8
22	4	5	5	5	5	5	5	5
23	5	4	5	5	5	5	4	4
24	5	1	1	5	5	5	5	1
25	5	5	5	5	5	5	5	5
26	4	4	5	4	5	4	4	5
27	5	5	5	5	5	5	5	5
28	5	5	5	5	3	4	5	5
29	5	5	5	5	5	5	5	5
30	5	3	3	5	2	5	5	1
31	5	5	5	5	5	5	5	5
32	5	5	5	5	5	5	5	2
33	4	4	4	4	5	4	5	3
34	5	4	5	5	5	5	5	2
35	4	5	5	4	5	5	5	4
36	5	5	5	3	5	5	5	5
37	5	5	5	5	5	5	5	4
38	4	3	3	4	1	5	5	2
39	5	5	5	5	5	4	5	5
40	5	5	5	4	5	5	5	3
41	5	3	5	5	3	5	5	4
42	5	5	3	5	5	5	5	3



## Referências

- [1] Hélder Oliveira. *An Affordable and Practical 3D Solution for the Aesthetic Evaluation of Breast Cancer Conservative Treatment*. Phd dissertation, Faculty of Engineering, University of Porto, 2013.
- [2] Ana Moreira. *Dynamic Analysis of Upper Limbs Movements after Breast Cancer Surgery*. Msc. thesis, Faculty of Engineering, University of Porto, 2014.
- [3] Armando E Giuliano, Kelly K Hunt, Karla V Ballman, Peter D Beitsch, Pat W Whitworth, Peter W Blumencranz, A Marilyn Leitch, Sukamal Saha, Linda M McCall, e Monica Morrow. Axillary dissection vs no axillary dissection in women with invasive breast cancer and sentinel node metastasis: a randomized clinical trial. *Jama*, 305(6):569–575, 2011.
- [4] Amit Goyal e Robert E Mansel. Recent advances in sentinel lymph node biopsy for breast cancer. *Current opinion in oncology*, 20(6):621–626, 2008.
- [5] Janice N Cormier, Robert L Askew, Kristi S Mungovan, Yan Xing, Merrick I Ross, e Jane M Armer. Lymphedema beyond breast cancer. *Cancer*, 116(22):5138–5149, 2010.
- [6] Ana Catarina Pinto e Evandro de Azambuja. Improving quality of life after breast cancer: dealing with symptoms. *Maturitas*, 70(4):343–348, 2011.
- [7] Barbara J Carter. Women’s experiences of lymphedema. Em *Oncology Nursing Forum*, volume 24, páginas 875–882, 1997.
- [8] Jeanne A Petrek e Melissa C Heelan. Incidence of breast carcinoma-related lymphedema. *Cancer*, 83(S12B):2776–2781, 1998.
- [9] Renan V Aranha, Marcos WS Ribeiro, e Clarissa AX de Camargo. Serious games e interação natural na terapêutica posterior ao tratamento do câncer de mama. *SBC – Proceedings of SBGames*, páginas 649–652, 2014.
- [10] Vic Velanovich e Wanda Szymanski. Quality of life of breast cancer patients with lymphedema. *The American journal of surgery*, 177(3):184–188, 1999.
- [11] G Lu, K Han, GN DeSouza, J Armer, e C-R Shyu. A new algorithm for 3d registration and its application in self-monitoring and early detection of lymphedema. *IRBM*, 35(6):370–384, 2014.
- [12] Irene A Walldridge. Lymphedema treatment system, Janeiro 30 2001. US Patent 6,179,796.
- [13] MS Panobianco e MV Mamede. Linfedema e câncer de mama. *Rev Latino-am Enfermagem*, 10(4):544–51, 2002.

- [14] Millena Prata Jammal, Ana Rita Marinho Machado, e Leiner Resende Rodrigues. Fisioterapia na reabilitação de mulheres operadas por câncer de mama. *O mundo da saúde*, 32(4):506–10, 2008.
- [15] Richard Drake, A Wayne Vogl, e Adam WM Mitchell. *Gray's anatomy for students*. Philadelphia, PA: Elsevier Health Sciences. 1058 p., 2009.
- [16] Gustavo Saposnik, Robert Teasell, Muhammad Mamdani, Judith Hall, William McIlroy, Donna Cheung, Kevin E Thorpe, Leonardo G Cohen, Mark Bayley, et al. Effectiveness of virtual reality using wii gaming technology in stroke rehabilitation a pilot randomized clinical trial and proof of principle. *Stroke*, 41(7):1477–1484, 2010.
- [17] F Hartveit. Attenuated cells in breast stroma: the missing lymphatic system of the breast. *Histopathology*, 16(6):533–543, 1990.
- [18] Rebecca Siegel, Deepa Naishadham, e Ahmedin Jemal. Cancer statistics, 2013. *CA: a cancer journal for clinicians*, 63(1):11–30, 2013.
- [19] Ganiyu A Rahman. Breast conserving therapy: a surgical technique where little can mean more. *Journal of surgical technique and case report*, 3(1), 2011.
- [20] Virginia S Erickson, Marjorie L Pearson, Patricia A Ganz, John Adams, e Katherine L Kahn. Arm edema in breast cancer patients. *Journal of the National Cancer Institute*, 93(2):96–111, 2001.
- [21] Baiba J Grube e Armando E Giuliano. Observation of the breast cancer patient with a tumor-positive sentinel node: Implications of the acosog z0011 trial. Em *Seminars in surgical oncology*, volume 20, páginas 230–237. Wiley Online Library, 2001.
- [22] Andrzej Szuba e Stanley G Rockson. Lymphedema: classification, diagnosis and therapy. *Vascular Medicine*, 3(2):145–156, 1998.
- [23] Lene Andersen, Inger Højris, Mogens Erlandsen, e Jørn Andersen. Treatment of breast-cancer-related lymphedema with or without manual lymphatic drainage: a randomized study. *Acta Oncologica*, 39(3):399–405, 2000.
- [24] Kathryn H Schmitz. Balancing lymphedema risk: exercise versus deconditioning for breast cancer survivors. *Exercise and sport sciences reviews*, 38(1):17, 2010.
- [25] Susan R Harris, Maria R Hugi, Ivo A Olivotto, Mark Levine, et al. Clinical practice guidelines for the care and treatment of breast cancer: 11. lymphedema. *Canadian Medical Association Journal*, 164(2):191–199, 2001.
- [26] Håkan Brorson. Liposuction in arm lymphedema treatment. *Scandinavian journal of surgery*, 92(4):287–295, 2003.
- [27] Etel Földi, Michael Földi, e Leo Clodius. The lymphedema chaos: a lancet. *Annals of plastic surgery*, 22(6):505–515, 1989.
- [28] Michael J Brennan e Linda T Miller. Overview of treatment options and review of the current role and use of compression garments, intermittent pumps, and exercise in the management of lymphedema. *Cancer*, 83(S12B):2821–2827, 1998.

- [29] Michael J Brennan, Robert W DePompolo, e Fae H Garden. Focused review: postmastectomy lymphedema. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 77(3):S74–S80, 1996.
- [30] MCJ Perez. Tratamento clínico do linfedema. *Angiologia e cirurgia vascular: guia ilustrado, 1-6. Macéio: Unicisal/Ecmal*, 2003.
- [31] Håkan Brorson, K Ohlin, G Olsson, G Langstrom, I Wiklund, e H Svensson. Quality of life following liposuction and conservative treatment of arm lymphedema. *Lymphology*, 39(1):8–25, 2006.
- [32] John R Casley-Smith, Robert Gwyn Morgan, e Neil B Piller. Treatment of lymphedema of the arms and legs with 5, 6-benzo-[alpha]-pyrone. *New England Journal of Medicine*, 329(16):1158–1163, 1993.
- [33] Inger-Lise Nesvold, Kristin Valborg Reinertsen, Sophie D Fosså, e Alv A Dahl. The relation between arm/shoulder problems and quality of life in breast cancer survivors: a cross-sectional and longitudinal study. *Journal of Cancer Survivorship*, 5(1):62–72, 2011.
- [34] Søren M Bentzen, J Overgaard, HD Thames, Marie Overgaard, P Vejby Hansen, H Von Der Maase, e J Meder. Clinical radiobiology of malignant melanoma. *Radiotherapy and Oncology*, 16(3):169–182, 1989.
- [35] Sandra C Hayes, Monika Janda, Bruce Cornish, Diana Battistutta, e Beth Newman. Lymphedema after breast cancer: incidence, risk factors, and effect on upper body function. *Journal of clinical oncology*, 26(21):3536–3542, 2008.
- [36] Sandra C Hayes, Karin Johansson, Nicole L Stout, Robert Prosnitz, Jane M Armer, Sheryl Gabram, e Kathryn H Schmitz. Upper-body morbidity after breast cancer. *Cancer*, 118(S8):2237–2249, 2012.
- [37] JK Lee, ROBERT J Stanley, STUART S Sagel, e ROBERT G Levitt. Accuracy of computed tomography in detecting intraabdominal and pelvic adenopathy in lymphoma. *American Journal of Roentgenology*, 131(2):311–315, 1978.
- [38] Keiva L Bland, Rebecca Perczyk, Wei Du, Christine Rymal, Prathima Koppolu, Ruthie McCrary, Kathryn A Carolin, e Mary Ann Kosir. Can a practicing surgeon detect early lymphedema reliably? *The American journal of surgery*, 186(5):509–513, 2003.
- [39] Richard Taylor, Upali W Jayasinghe, Louise Koelmeyer, Owen Ung, e John Boyages. Reliability and validity of arm volume measurements for assessment of lymphedema. *Physical therapy*, 86(2):205–214, 2006.
- [40] Thierry Deltombe, Jacques Jamart, S Recloux, C Legrand, N Vandenbroeck, S Theys, e P Hanson. Reliability and limits of agreement of circumferential, water displacement, and optoelectronic volumetry in the measurement of upper limb lymphedema. *Lymphology*, 40(1):26–34, 2007.
- [41] Alexander Fagrell e Olle Karlsson. *Assessment of Lymphedema Attributes: A mechatronic product development in a clinical environment*. Msc. thesis, KTH, School of Industrial Engineering and Management (ITM), 2012.
- [42] AWB Stanton, C Badger, e J Sitzia. Non-invasive assessment of the lymphedematous limb. *Lymphology*, 33(3):122–135, 2000.

- [43] AWB Stanton, JW Northfield, B Holroyd, PS Mortimer, e JR Levick. Validation of an optoelectronic limb volumeter (perometer®). *Lymphology*, 30(2):77–97, 1997.
- [44] Richard Ricciardi e Laura A Talbot. Use of bioelectrical impedance analysis in the evaluation, treatment, and prevention of overweight and obesity. *Journal of the American Academy of Nurse Practitioners*, 19(5):235–241, 2007.
- [45] BH Cornish, M Chapman, C Hirst, B Mirolo, IH Bunce, LC Ward, e BJ Thomas. Early diagnosis of lymphedema using multiple frequency bioimpedance. *Lymphology*, 34(1):2–11, 2001.
- [46] Jennifer Brown. A clinically useful method for evaluating lymphedema. *Clinical journal of oncology nursing*, 8(1):35–38, 2004.
- [47] Chiara Trombetta, Paolo Abundo, Antonella Felici, Concetta Ljoka, Sandro Di Cori, Nicola Rosato, e Calogero Foti. Computer aided measurement laser (caml): technique to quantify post-mastectomy lymphoedema. Em *Journal of Physics: Conference Series*, volume 383, página 012018. IOP Publishing, 2012.
- [48] John Gregory McKinnon, Vanessa Wong, Walley J Temple, Callum Galbraith, Paul Ferry, George S Clynch, e Colin Clynch. Measurement of limb volume: laser scanning versus volume displacement. *Journal of surgical oncology*, 96(5):381–388, 2007.
- [49] Huiyu Zhou e Huosheng Hu. Human motion tracking for rehabilitation—a survey. *Biomedical Signal Processing and Control*, 3(1):1–18, 2008.
- [50] Thomas B Moeslund, Adrian Hilton, e Volker Krüger. A survey of advances in vision-based human motion capture and analysis. *Computer vision and image understanding*, 104(2):90–126, 2006.
- [51] A Kolahi, M Hoviattalab, T Rezaeian, M Alizadeh, M Bostan, e H Mokhtarzadeh. Design of a marker-based human motion tracking system. *Biomedical Signal Processing and Control*, 2(1):59–67, 2007.
- [52] Simon Baker, Takeo Kanade, et al. Shape-from-silhouette across time part ii: Applications to human modeling and markerless motion tracking. *International Journal of Computer Vision*, 63(3):225–245, 2005.
- [53] Pascual J Figueroa, Neucimar J Leite, e Ricardo ML Barros. A flexible software for tracking of markers used in human motion analysis. *Computer methods and programs in biomedicine*, 72(2):155–165, 2003.
- [54] Darius M Gavrilă. The visual analysis of human movement: A survey. *Computer vision and image understanding*, 73(1):82–98, 1999.
- [55] Koichiro Akita. Image sequence analysis of real world human motion. *Pattern recognition*, 17(1):73–83, 1984.
- [56] Ramprasad Polana e Randal Nelson. Low level recognition of human motion (or how to get your man without finding his body parts). Em *Proc. of IEEE Computer Society Workshop on Motion of Non-Rigid and Articulated Objects*, Austin, TX, páginas 77–82. IEEE, 1994.

- [57] Michael Oren, Constantine Papageorgiou, Pawan Sinha, Edgar Osuna, e Tomaso Poggio. Pedestrian detection using wavelet templates. Em *Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, San Juan, Puerto Rico*, páginas 193–199. IEEE, 1997.
- [58] Stefano Corazza, Lars Muendermann, AM Chaudhari, T Demattio, Claudio Cobelli, e Thomas P Andriacchi. A markerless motion capture system to study musculoskeletal biomechanics: Visual hull and simulated annealing approach. *Annals of biomedical engineering*, 34(6):1019–1029, 2006.
- [59] Matteo Munaro, Filippo Basso, e Emanuele Menegatti. Tracking people within groups with rgb-d data. Em *Proceedings of the international conference on intelligent robots and systems (IROS), Vilamoura (Portugal)*, páginas 2101–2107. IEEE, 2012.
- [60] Matthias Luber, Luciano Spinello, e Kai Oliver Arras. People tracking in rgb-d data with on-line boosted target models. Em *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, páginas 3844–3849. IEEE, 2011.
- [61] Hélder P Oliveira, Marco D Silva, André Magalhaes, Maria J Cardoso, e Jaime S Cardoso. Is kinect depth data accurate for the aesthetic evaluation after breast cancer surgeries? Em *Pattern Recognition and Image Analysis*, páginas 261–268. Springer, 2013.
- [62] Peter Henry, Michael Krainin, Evan Herbst, Xiaofeng Ren, e Dieter Fox. Rgb-d mapping: Using depth cameras for dense 3d modeling of indoor environments. Em *12th International Symposium on Experimental Robotics (ISER)*. Citeseer, 2010.
- [63] Zhengyou Zhang. Microsoft kinect sensor and its effect. *MultiMedia, IEEE*, 19(2):4–10, 2012.
- [64] Pedro Costa, Hooshiar Zolfagharnasab, João P Monteiro, Jaime S Cardoso, e Hélder P Oliveira. 3d reconstruction of body parts using rgb-d sensors: Challenges from a biomedical perspective. Em *Proceedings of the 5th International Conference and Exhibition on 3D Body Scanning Technologies*, 2014.
- [65] Chien-Yen Chang, Belinda Lange, Mi Zhang, Sebastian Koenig, Phil Requejo, Noom Somboon, Alexander A Sawchuk, e Albert A Rizzo. Towards pervasive physical rehabilitation using microsoft kinect. Em *Proceedings of the International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (2012)*, páginas 159–162. IEEE, 2012.
- [66] Vagiz R Duseev e Andrey N Malchukov. Kinect sensor depth data filtering. Em *International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS)*, páginas 1–4. IEEE, 2014.
- [67] Joaquim Guilherme Vasconcelos Gonçalves da Silva. Sistema de aumento de segurança para cadeira de rodas baseada num sensor kinect, 2013.
- [68] Ross A Clark, Yong-Hao Pua, Karine Fortin, Callan Ritchie, Kate E Webster, Linda Denehy, e Adam L Bryant. Validity of the microsoft kinect for assessment of postural control. *Gait & posture*, 36(3):372–377, 2012.
- [69] Jutta Engel, Jacqueline Kerr, Anne Schlesinger-Raab, Hansjörg Sauer, e Dieter Hölzel. Axilla surgery severely affects quality of life: results of a 5-year prospective study in breast cancer patients. *Breast cancer research and treatment*, 79(1):47–57, 2003.



- [70] Kristin L Campbell, Andrea L Pusic, David S Zucker, Margaret L McNeely, Jill M Binkley, Andrea L Cheville, e Kenneth J Harwood. A prospective model of care for breast cancer rehabilitation: function. *Cancer*, 118(S8):2300–2311, 2012.
- [71] Andre B Chatman, Scott P Hyams, James M Neel, Jill M Binkley, Paul W Stratford, Ann Schomberg, e Mike Stabler. The patient-specific functional scale: measurement properties in patients with knee dysfunction. *Physical therapy*, 77(8):820–829, 1997.
- [72] Pamela L Hudak, Peter C Amadio, Claire Bombardier, et al. Development of an upper extremity outcome measure: the dash. *Am J Ind Med*, 29:602–608, 1996.
- [73] Paul W Stratford, Jill M Binkley, e Diane M Stratford. Feature articles-development and initial validation of the upper extremity functional index. *Physiotherapy Canada*, 53(4):259–267, 2001.
- [74] Winkle Kwan, Jeremy Jackson, Lorna M Weir, Carol Dingee, Greg McGregor, e Ivo A Olivotto. Chronic arm morbidity after curative breast cancer treatment: prevalence and impact on quality of life. *Journal of Clinical Oncology*, 20(20):4242–4248, 2002.
- [75] Samantha Coster, Karen Poole, e Lesley J Fallowfield. The validation of a quality of life scale to assess the impact of arm morbidity in breast cancer patients post-operatively. *Breast cancer research and treatment*, 68(3):273–282, 2001.
- [76] Ingrid Tengrup, Lena Tennvall-Nittby, Inger Christiansson, e Marianne Laurin. Arm morbidity after breast-conserving therapy for breast cancer. *Acta Oncologica*, 39(3):393–397, 2000.
- [77] Sandi Hayes, Diana Battistutta, e Beth Newman. Objective and subjective upper body function six months following diagnosis of breast cancer. *Breast cancer research and treatment*, 94(1):1–10, 2005.
- [78] Diana J Dawes, Sarkis Meterissian, Mark Goldberg, e Nancy E Mayo. Impact of lymphoedema on arm function and health-related quality of life in women following breast cancer surgery. *Journal of rehabilitation Medicine*, 40(8):651–658, 2008.
- [79] Edgar Alves. *Jogos Sérios para Ensino de Engenharia de Software*. Msc. thesis, FEUP, 2012.
- [80] Ana Pinto. *Desenvolvimento de um jogo para jovens/adultos portadores de Síndrome de Down*. Msc. thesis, FEUP, 2012.
- [81] Kevin Corti. Games-based learning; a serious business application. *Informe de PixelLearning*, 34(6):1–20, 2006.
- [82] Flávia Gonçalves Fernandes, Sara Cristina Santos, Luciene Chagas de Oliveira, Mylene Lemos Rodrigues, e Stéfano Schwenck Borges Vale Vita. Realidade virtual e aumentada aplicada em reabilitação fisioterapêutica utilizando o sensor kinect e dispositivos móveis. *XIII Conferência de Estudos em Engenharia Eletrica*, 2014.
- [83] Christian Schonauer, Thomas Pintaric, Hannes Kaufmann, Stephanie Jansen-Kosterink, e Miriam Vollenbroek-Hutten. Chronic pain rehabilitation with a serious game using multi-modal input. Em *International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)*, páginas 1–8. IEEE, 2011.

- [84] Jun-Da Huang. Kinerehab: A kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities. Em *The proceedings of the 13th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, páginas 319–320. ACM, 2011.
- [85] IS Mendes, CAX Camargo, GL Cavalheiro, A Cardoso, FPS Lima, MO Lima, e AO Andrade. Realidade virtual: Desenvolvimento e aplicabilidade no tratamento da dor secundária ao cancer de mama. *VI Simpósio em Engenharia Biomédica, Uberlândia*, 2013.
- [86] Jill M Binkley, Susan R Harris, Pamela K Levangie, Marcia Pearl, Janine Guglielmino, Valerie Kraus, e Diana Rowden. Patient perspectives on breast cancer treatment side effects and the prospective surveillance model for physical rehabilitation for women with breast cancer. *Cancer*, 118(S8):2207–2216, 2012.
- [87] Ana Maria Acosta, Hendrik A Dewald, e Jules PA Dewald. Pilot study to test effectiveness of video game on reaching performance in stroke. *Journal of rehabilitation research and development*, 48(4):431, 2011.
- [88] Dara Meldrum, Susan Herdman, Roisin Moloney, Deirdre Murray, Douglas Duffy, Kareena Malone, Helen French, Stephen Hone, Ronan Conroy, e Rory McConn-Walsh. Effectiveness of conventional versus virtual reality based vestibular rehabilitation in the treatment of dizziness, gait and balance impairment in adults with unilateral peripheral vestibular loss: a randomised controlled trial. *BMC Ear, Nose and Throat Disorders*, 12(1):3, 2012.
- [89] Manoela de Assis Lahoz, Samantha Maria Nyssen, Grasiéla Nascimento Correia, Ana Paula Urdiales Garcia, e Patricia Driusso. Capacidade funcional e qualidade de vida em mulheres pós-mastectomizadas. *Revista Brasileira de Cancerologia*, 56(4):423–430, 2010.
- [90] Jakob Nielsen. *Usability engineering*. Elsevier, 1994.
- [91] Kyung S Park e Chee Hwan Lim. A structured methodology for comparative evaluation of user interface designs using usability criteria and measures. *International journal of industrial ergonomics*, 23(5):379–389, 1999.
- [92] A. R. J. Nicholl. Ambiente que promove a inclusão: Conceitos de acessibilidade e usabilidade. *Assentamentos Humanos Magazine*, 3(2):49–60, 2001.
- [93] Richard O Duda, Peter E Hart, e David G Stork. *Pattern classification*. John Wiley & Sons, 2012.
- [94] Nader Mahmoudi e Ekrem Duman. Detecting credit card fraud by modified fisher discriminant analysis. *Expert Systems with Applications*, 42(5):2510–2516, 2015.
- [95] Harry Zhang. The optimality of naive bayes. *AA*, 1(2):3, 2004.
- [96] Christopher JC Burges. A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data mining and knowledge discovery*, 2(2):121–167, 1998.
- [97] Ana Carolina Lorena e André CPLF de Carvalho. Uma introdução às support vector machines. *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, 14(2):43–67, 2007.
- [98] Jaime S Cardoso e Maria J Cardoso. Towards an intelligent medical system for the aesthetic evaluation of breast cancer conservative treatment. *Artificial Intelligence in Medicine*, 40(2):115–126, 2007.

- [99] Kai Ming Ting. Precision and recall. Em *Encyclopedia of machine learning*, páginas 781–781. Springer, 2010.
- [100] Paula Guaraldo Villa Clé, Luiz Eduardo Tasso, Rafael Inácio Barbosa, Marisa de Cássia Registro Fonseca, Valéria Meirelles Carril Elui, Frederico Balbão Roncaglia, Nilton Mazzer, e Cláudio Henrique Barbieri. Estudo retrospectivo do estado funcional de pacientes com fratura do rádio distal submetidos à osteossíntese com placa lcp. *Acta fisiátrica*, 18(4), 2011.